

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-261498

(43)Date of publication of application : 29.09.1998

(51)Int.Cl.

H05H 1/46
C23C 16/50
C23F 4/00
H01L 21/205
H01L 21/3065
H01L 21/68

(21)Application number : 09-045275

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 28.02.1997

(72)Inventor : KAJI TETSUNORI
WATANABE KATSUYA
MITANI KATSUHIKO
OTSUBO TORU
TAJI SHINICHI
TANAKA JUNICHI

(30)Priority

Priority number : 08 44391 Priority date : 01.03.1996 Priority country : JP
09 7938 20.01.1997

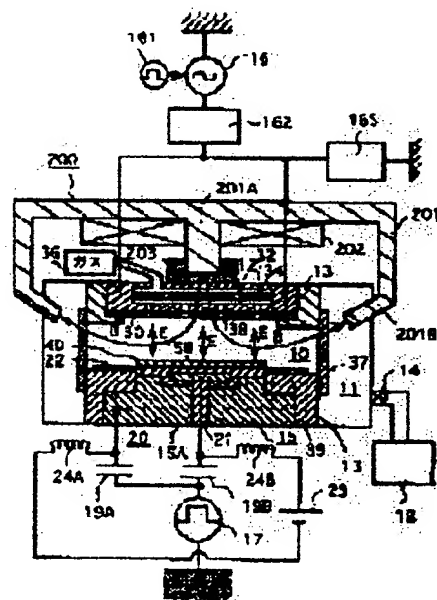
JP

(54) PLASMA TREATMENT APPARATUS AND PLASMA TREATMENT METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma treatment apparatus and a plasma treatment method with which highly precise ultra-fine pattern formation can easily be carried out on a sample with a large diameter and selection ratio at the time of ultra-fine patterning is improved.

SOLUTION: This plasma treatment apparatus comprises a vacuum treatment chamber 10, a sample stand 15 to set a sample 40 to be treated in the vacuum treatment chamber 10, and a plasma generating means including a high frequency electric power source 16 and in a pair of electrodes 12, 15, a high frequency electric power source to apply VHF band electric power at 50-200MHz is installed and also a magnetic field generating means is installed to generate a magnetostatic field or a low frequency magnetic field with not less than 10G and not higher than 110G in the direction at right angles to the electric field generated between the electrodes 12, 15 by the high frequency electric power source. The magnetic field generating means is so set as to keep the point where the component of the magnetic field along the lower part electrode 15 becomes the maximum at a position on the upper electrode face 12 or closer to the upper electrode 12 side than to the center between both electrodes 12, 15 and a cyclotron resonance region of electrons is formed between the pair of the electrodes 12, 15 based on the mutual functions of the magnetic field and the electric field.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

29.05.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-261498

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月29日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

C

L

C 2 3 C 16/50

C 2 3 C 16/50

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

G

A

審査請求 未請求 請求項の数31 O L (全 32 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-45275

(22) 出願日 平成9年(1997) 2月28日

(31) 優先権主張番号 特願平8-44391

(32) 優先日 平8(1996) 3月1日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-7938

(32) 優先日 平9(1997) 1月20日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 加治 哲徳

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会

社日立製作所笠戸工場内

(72) 発明者 渡辺 克哉

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会

社日立製作所笠戸工場内

(72) 発明者 三谷 克彦

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会

社日立製作所笠戸工場内

(74) 代理人 弁理士 高田 幸彦 (外1名)

最終頁に続く

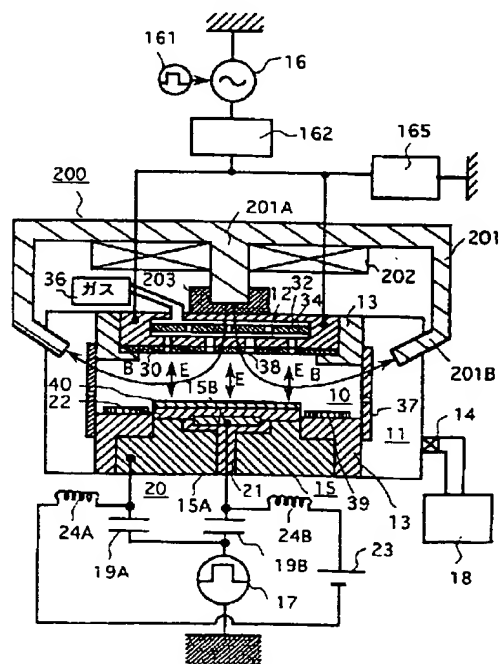
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 大口径の試料について微細パターンの精密な加工が容易で、また、微細加工時の選択比も向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供する。

【解決手段】 真空処理室10と、この真空処理室内で処理される試料40を配置するための試料台15と、高周波電源16を含むプラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、一対の電極間12、15には、50ないし200MHzのVHF帯電源を印加する高周波電源と、前記高周波電源により前記一対の電極間に生ずる電界と交差する方向に、10 Gauss以上110 Gauss以下の静磁場もしくは低周波磁場を形成する磁場形成手段とを備え、前記磁場の前記下部電極に沿う方向の成分の最大となる部分が、前記上部電極面上もしくは両電極の中央よりも上部電極側になるように前記磁場形成手段を設定し、前記磁場と前記電界との相互作用により、前記一対の電極間に電子のサイクロトロン共鳴領域を形成する。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 真空処理室と、一対の電極を含むプラズマ生成手段と、該真空処理室内で処理される試料を載置する試料載置面を有する試料台と、前記真空処理室を減圧する減圧手段とを有するプラズマ処理装置において、前記一対の電極間に、30 MHz ないし 300 MHz の VHF 帯の高周波電力を印加する高周波電源と、前記高周波電源により前記一対の電極間もしくはその近辺に生ずる電界と交差する方向に、静磁場もしくは低周波磁場を形成する磁場形成手段とを備え、前記一対の電極間に、前記磁場と前記電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】 真空処理室と、一対の電極を含むプラズマ生成手段と、前記電極の一方を兼ねると共に該真空処理室内で処理される試料を載置する試料台と、前記真空処理室を減圧する減圧手段とを有するプラズマ処理装置において、前記一対の電極間に、50 MHz ないし 200 MHz の VHF 帯電力を印加する高周波電源と、前記高周波電源により前記一対の電極間もしくはその近辺に生ずる電界と交差する方向に、17 ガウス以上 72 ガウス以下の静磁場もしくは低周波磁場の部分を形成する磁場形成手段とを備え、前記磁場の前記試料台の面に沿う方向の成分の最大となる部分が、前記一対の電極の中央よりも前記試料台と反対側になるように前記磁場形成手段を設定し、前記一対の電極間に、前記磁場と前記電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 において、前記磁場形成手段により形成される磁場の強度を、前記試料面上で該面に平行な磁場成分が 30 ガウス以下となるようにしたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】 真空処理室と、一対の電極を含むプラズマ生成手段と、前記電極の一方を兼ねると共に該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台とを有するプラズマ処理装置において、前記一対の電極間に、30 MHz ないし 300 MHz の VHF 帯電力を印加する高周波電源と、前記電極が、前記高周波電源に接続された第 1 の電極と、前記試料台を兼ねると共にイオンエネルギー制御用のバイアス電源に接続された第 2 の電極により構成され、該一対の電極間の距離が 30 ないし 100 mm であり、前記真空処理室を 0.4 Pa ないし 4 Pa に減圧する減圧手段と、前記一対の電極間もしくはその近辺の電界と交差する方向に、10 ガウス以上 110 ガウス以下の静磁場もしくは低周波磁場の部分を形成する磁場形成手段とを備え、

前記第 1 の電極面上もしくは両電極の中央よりも前記第 1 の電極側に、前記磁場と前記高周波電源による電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】 請求項 1、2 または 4 のいずれかにおいて、前記電子のサイクロトロン共鳴効果が前記試料の中央に比べて該試料の周辺部ないしはその外側で大きくなるように、前記磁場形成手段によって形成される前記磁界の密度または方向を調節し、前記試料載置面の全面に対応する位置でプラズマ密度が均一になるように構成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】 請求項 4 において、前記磁場形成手段が、前記試料面の中心に対して偏心して回転することにより前記磁場を変更し前記試料に対する前記サイクロトロン共鳴領域の距離を連続的に変更するコアを含むことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 7】 真空処理室と、一対の電極を含むプラズマ生成手段と、該真空処理室内で処理される試料を載置する試料載置面を有する試料台と、前記真空処理室を減圧する減圧手段とを有するプラズマ処理装置において、前記電極が、高周波電源に接続された第 1 の電極と、前記試料台を兼ねる第 2 の電極と、前記第 1 の電極の周辺外側に位置し接地された前記処理室の壁部分により構成され、前記高周波電源が、前記一対の電極間及び前記第 1 の電極と前記処理室の壁部分間に、30 MHz ないし 300 MHz の VHF 帯の高周波電力を印加する電源であり、前記処理室の中心付近では互いに打消合い、前記処理室の周辺および外側では互いに重畳する方向に、10 ガウス以上 110 ガウス以下の静磁場もしくは低周波磁場の部分を形成する磁場形成手段とを備え、前記試料載置面の周辺部ないしはその外側付近に、前記磁場と前記高周波電源による電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 8】 請求項 7 において、前記磁場形成手段が、前記試料の中央付近では互いに磁束を打消し、該試料の周辺部ないしはその外側では互いに磁束を重畳させるように前記処理室の周囲に配置された複数のコイルを備えていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 9】 請求項 4 において、前記イオンエネルギー制御用のバイアス電源として、周期が 0.2 ~ 5 μ s で正方向パルス部分の duty が 0.4 以下のパルスバイアスを容量素子を介して前記試料に加えることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 10】 請求項 1、2 または 4 のいずれかにおいて、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料台に接続され、該試料台にパルスバイアス電圧

を印加するパルスバイアス印加手段と、
前記パルスバイアス電圧の印加に伴い前記静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の上昇を抑制する、電圧抑制手段とを設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項11】請求項10において、前記電圧抑制手段は、パルスの一周期中の前記静電吸着手段の静電吸着膜による電圧変化を、前記パルスバイアス電圧の $1/2$ 以下に抑制するように構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項12】真空処理室と、一対の電極を含むプラズマ生成手段と、前記電極の一方を兼ねると共に該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、前記真空処理室を減圧する減圧手段とを有するプラズマ処理装置による試料のプラズマ処理方法において、減圧手段により前記真空処理室内を減圧するステップと、

磁場形成手段により、前記一対の電極間の電界と交差する方向に10 Gauss以上110 Gauss以下の静磁場もしくは低周波磁場の部分を形成するステップと、高周波電源により前記一対の電極間に、30 MHzないし300 MHzのVHF帯電力を印加して、前記一対の電極の間に、前記磁場と前記高周波電源による電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成するステップと、
前記電子のサイクロトロン共鳴により生成されるプラズマにより、前記試料を処理するステップとを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項13】真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、一対の電極を含む

プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置による試料のプラズマ処理方法において、
前記電極が、前記高周波電源に接続された第1の電極と、前記試料台を兼ねると共にイオンエネルギー制御用のバイアス電源に接続された第2の電極とからなる一対の電極により構成され、該一対の電極間の距離が30ないし100 mmであり、

減圧手段により前記真空処理室内を0.4 Paないし4 Paに減圧するステップと、

磁場形成手段により、前記一対の電極間の電界と交差する方向に10 Gauss以上110 Gauss以下の静磁場もしくは低周波磁場の部分を形成するステップと、

高周波電源により前記一対の電極間に、30 MHzないし300 MHzのVHF帯電力を印加して、前記一対の電極の間に、前記磁場と前記高周波電源による電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成するステップと、

前記電子のサイクロトロン共鳴により生成されるプラズマにより、前記試料を処理するステップとを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項14】真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、高周波電源を含むプラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、

前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、

前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備え、

前記高周波電源として10 MHz～500 MHzの高周波電圧を印加するとともに、前記真空処理室を0.5～4.0 Paに減圧するように構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項15】一方の電極に試料が配置される一対の対向する電極と、

前記試料が配置される雰囲気、エッチングガスを導入するガス導入手段と、

前記雰囲気を0.5～4.0 Paに減圧排気する排気手段と、

前記一対の対向電極に10 MHz～500 MHzの高周波電圧を印加する高周波電源と、

前記圧力下で前記エッチングガスをプラズマ化するプラズマ生成手段と、

前記試料のエッチング時に前記一方の電極に、パルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段からなり、

前記試料中の絶縁膜をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項16】真空処理室と、該真空処理室で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、

前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、

前記試料台に接続され、該試料台にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段と、

前記パルスバイアス電圧の印加に伴い前記静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の上昇を抑制する、電圧抑制手段とを設け、

該電圧抑制手段は、パルスの一周期中の前記静電吸着手段の静電吸着膜による電圧変化を、前記パルスバイアス電圧の $1/2$ 以下に抑制するように構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項17】間隙が10 mm～50 mmの一対の対向する電極と、

一方の前記電極に試料を静電吸着力によって保持する静電吸着手段と、

前記試料が保持された雰囲気、エッチングガスを導入するガス導入手段と、

前記雰囲気を0.5～4.0 Paに減圧排気する排気手段と、

前記圧力下で前記エッチングガスを10 MHz～500 MHz

z の高周波電力によりプラズマ化するプラズマ生成手段と、

前記試料が配置された前記一方の電極にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段からなり、前記試料中の絶縁膜をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 18】請求項 16 または 17 のいずれかに記載のプラズマ処理装置において、

前記パルスバイアス電圧の印加に伴い前記静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の上昇を抑制する、電圧抑制手段を設け、

前記電圧抑制手段として、パルスの一周期中の前記静電吸着手段の静電吸着膜による電圧変化が、前記パルスバイアス電圧の $1/2$ 以下になるように、前記パルスバイアス電圧の周期を設定したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 19】真空処理室に設けられた電極の一方に試料を配置するステップと、

該試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置された雰囲気、処理ガスを導入するステップと、

前記雰囲気を前記試料の処理圧力に減圧排気するステップと、

前記圧力下で前記処理ガスをプラズマ化するステップと、

該試料を前記プラズマにより処理するステップと、

前記試料にパルスバイアス電圧を印加するステップと、からなることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 20】間隙が $10\text{mm} \sim 50\text{mm}$ の一対の対向する電極の一方に、試料を配置するステップと、

該配置された試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置された雰囲気に、エッチングガスを導入するステップと、

前記雰囲気を $0.5 \sim 4.0\text{Pa}$ に減圧するステップと、

$10\text{MHz} \sim 500\text{MHz}$ の高周波電力を印加し、前記圧力下で前記エッチングガスをプラズマ化するステップと、

該プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、

該エッチング時に前記一方の電極に、パルスバイアス電圧を印加するステップからなり、

前記試料中の絶縁膜をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 21】真空処理室に設けられた電極の一方に試料を配置するステップと、

該試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置された雰囲気に、エッチングガスを導入

するステップと、

前記雰囲気を減圧排気するステップと、

前記減圧下でエッチングガスをプラズマ化するステップと、

該試料を前記プラズマによりエッチングするステップと、

前記試料にパルスバイアス電圧を印加するステップからなり、

前記パルスバイアス電圧印加時における、パルスの一周期中の前記静電吸着手段の静電吸着膜による電圧変化を、前記パルスバイアス電圧の $1/2$ 以下に抑制することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 22】対向する電極の一方の電極に試料を配置するステップと、

該配置された試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置された雰囲気に、エッチングガスを導入するステップと、

該導入されたエッチングガスをプラズマ化するステップと、

該プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、

該エッチング時に前記一方の電極に、 $250\text{V} \sim 1000\text{V}$ のパルス振幅と $0.05 \sim 0.4$ のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加するステップからなり、前記試料中の絶縁膜をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 23】真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、

前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、

前記試料にバイアス電圧を印加するバイアス印加手段と、

前記真空処理室に、ラジカル発生用ガスを予め分解する手段を有し所望量のラジカルを供給するラジカル供給手段と、

前記真空処理室にイオン発生用ガスを供給する手段と、前記真空処理室にプラズマを発生させるプラズマ生成手段とを具備し、

前記試料として SiO_2 を用いることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 24】真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、

前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、

前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段と、

前記真空処理室に、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ

化し所望量のラジカルを供給するラジカル発生用プラズマ供給手段と、

前記真空処理室に、イオン発生用ガスを供給しプラズマを発生させる前記プラズマ生成手段とを具備し、

前記試料として SiO_2 を用いることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 5】 真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、

高周波電源を含むプラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、

前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、

前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段と、

前記真空処理室に、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するラジカル発生用プラズマ供給手段と、

前記真空処理室に、イオン発生用ガスを供給しプラズマを発生させる前記プラズマ生成手段とを備え、

前記高周波電源により 1 0 MHz ~ 5 0 0 MHz の高周波電圧を印加するとともに、前記真空処理室を 0 . 5 ~ 4 . 0 Pa に減圧するように構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 6】 真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、

前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、

前記真空処理室に、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するラジカル発生用プラズマ供給手段と、

前記真空処理室に、イオン発生用ガスを供給しプラズマを発生させる前記プラズマ生成手段と、

前記試料台に接続され、該試料台にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段と、

前記パルスバイアス電圧の印加に伴い前記静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の上昇を抑制する、電圧抑制手段とを具備したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 7】 真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、

前記試料台に設けられた静電吸着膜を含み、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、

前記真空処理室に、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するラジカル発生用プラズマ供給手段と、

前記真空処理室に、イオン発生用ガスを供給しプラズマを発生させる前記プラズマ生成手段と、

前記試料台に接続され、該試料台にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段と、

前記パルスバイアス電圧の印加に伴い前記静電吸着膜の両端間に生ずる電圧を抑制する、電圧抑制手段とを具備し、

該電圧抑制手段は、前記静電吸着手段の静電吸着膜による電圧を、前記パルスバイアス電圧の 1 / 2 以下に抑制することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 8】 対向する一方の電極に試料を配置するステップと、

該配置された試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置・保持された雰囲気中に、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するステップと、

前記雰囲気に、イオン発生用ガスを供給するステップと、

前記雰囲気を、0 . 5 ~ 4 . 0 Pa に減圧排気するステップと、

前記対向する電極に 1 0 MHz ~ 5 0 0 MHz の高周波電圧を印加し、前記圧力下で供給されたイオン発生用ガスをプラズマ化するステップと、

該プラズマにより前記試料をエッチング処理するステップと、

該エッチング処理時に前記一方の電極に、パルスバイアス電圧を印加するステップからなり、

前記試料として SiO_2 を用いることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 2 9】 真空処理室に設けられた電極の一方に試料を配置するステップと、

該試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置・保持された雰囲気中に、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するステップと、

前記雰囲気に、イオン発生用ガスを供給するステップと、

前記雰囲気に 3 0 MHz ~ 1 0 0 MHz の高周波電圧を印加し、前記圧力下で供給されたイオン発生用ガスをプラズマ化するステップと、

該試料を前記プラズマにより処理するステップと、前記試料にパルスバイアス電圧を印加するステップからなり、

前記試料として SiO_2 を用いることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 3 0】 真空処理室に設けられた電極の一方に試料を配置するステップと、

該試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置・保持された雰囲気中に、ラジカル発生用

ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するステップと、

前記雰囲気、イオン発生用ガスを供給するステップと、

前記雰囲気を、前記試料の処理圧力に減圧排気するステップと、

前記圧力下で供給されたイオン発生用ガスをプラズマ化するステップと、

該試料を前記プラズマにより処理するステップと、

前記試料にパルスバイアス電圧を印加するステップからなり、

前記静電吸着手段の電圧が、前記パルスバイアス電圧の $1/2$ 以下となるようにしたことを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 3 1】 真空処理室に設けられた対向する電極の一方に試料を配置するステップと、

該試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、

前記試料が配置・保持された雰囲気、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するステップと、

前記雰囲気に、イオン発生用ガスを供給するステップと、

前記雰囲気を、 $0.5 \sim 4.0$ Pa に減圧排気するステップと、

前記対向する電極間に 30 MHz \sim 100 MHz の高周波電圧を印加し、前記圧力下で供給されたイオン発生用ガスをプラズマ化するステップと、

該試料を前記プラズマにより処理するステップと、

前記試料にパルスバイアス電圧を印加するステップからなることを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はプラズマ処理装置および処理方法に係り、特に半導体製造工程における微細なパターンを形成するのに好適なプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 プラズマ処理は、半導体デバイスの高集積化に伴ってますます微細加工性や処理速度の向上が要求されて来ている。この要求に応えるためには、処理ガス圧の低圧化、プラズマの高密度化が必要になって来ている。

【0003】 処理ガス圧の低圧化、高密度化を目指すものとして、(1) マイクロ波 (2.45 GHz) 電磁界と静磁場 (875 G) とのサイクロトロン共鳴現象 (ECR と略す) を利用したもの、(2) RF 周波数の電源によりコイルを励振し、誘導電磁界を発生させて、プラズマを発生させるもの (ICP と略す) などがある。

【0004】 ところで、フルオロカーボン系ガスをを用い

て、酸化膜系の膜をエッチングする場合、上記 (1) に示した ECR や (2) に示した ICP 方式では、ガスの解離が進みすぎ、酸化膜系膜の下地 (Si や SiN) に対する選択比を高くすることが困難であるのが現状である。

【0005】 一方、平行平板間に RF 周波数の電圧を印加し、プラズマを発生させる従来の方法は、 10 Pa 以下の圧力で安定に放電させることは困難である。この対策として、(3) 特開平 7-297175 号公報や特開平 3-204925 号公報に示されたような、数十 MHz 以上の高い周波数の電圧によりプラズマを生成させ数 MHz 以下の低い周波数で試料のバイアス制御を行う 2 周波励起法や、(4) 特開平 2-312231 号公報に示されたような、試料表面に誘起された自己バイアス電界 (E) と交差する方向に磁界 B を加え、電子のローレンツ力による電子の閉じ込め作用を利用したマグネトロン RIE (M-RIE と略す) 法がある。

【0006】 また、低ガス圧下においてプラズマ密度を増加させる方法として、特開昭 56-13480 号公報に記載されたものがある。これは、電磁波であるマイクロ波 (2.45 GHz) と静磁場 (875 Gauss) とによる電子サイクロトロン共鳴 (ECR) を活用し、 $0.1 \sim 1$ Pa の低ガス圧でも高いプラズマ密度が得られるようにしたものである。

【0007】 一方、プラズマを用いて半導体のエッチング処理や成膜処理等を行う技術分野において、被処理物 (例えば半導体ウェハ基板、以下試料と略する。) を配置する試料台に対して、プラズマ中のイオンを加速するための高周波電源と、静電吸着力によって試料を試料台に保持させる静電吸着膜とを備えた処理装置が採用されている。

【0008】 例えば、USP 5,320,982 号明細書に記載された装置は、マイクロ波でプラズマを発生させ、静電吸着力によって試料を試料台に保持させると共に試料と試料台との間に伝熱ガスを介在させて試料の温度制御を行いながら、正弦波出力の高周波電源をバイアス電源として、該電源を試料台に接続して試料に入射するイオンエネルギーを制御するものである。

【0009】 また、特開昭 62-280378 号公報では、プラズマ電極間の電界強度を一定化するパルス状のイオン制御バイアス波形を発生させ試料台に印加することにより、試料に入射するイオンエネルギーの分布幅を狭くでき、エッチングの加工寸法精度や被処理膜と下地材とのエッチング速度比を数倍に上げることが可能となることが記載されている。

【0010】 また、特開平 6-61182 号公報では、電子サイクロトロン共鳴を利用してプラズマを発生させ、試料に、パルスデューティが 0.1 % 程度以上の幅のパルスバイアスを印加し、ノッチの発生を防止することが記載されている。

【0011】なお、VHF帯電磁波と静磁場とによりサイクロトロン共鳴を起こし、プラズマ密度を向上させる例として、Jap. J. Appl. phys., Vol. 28, No. 10, October, 1989, PP. L 1860- L 1862に記載のものがある。しかし、本例で同軸形状の中心導体に144 MHzの高周波を印加し、中心導体に平行な51 Gの磁場を加え、サイクロトロン共鳴を生じさせて、高密度のプラズマを発生させ、このプラズマ発生部の下流にアースされた試料台を設置している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術中、特開平7-288195号公報や特開平7-297175号公報に記載のプラズマ発生方式は、13.56 MHzや数十MHzの高周波によりプラズマを発生させるものである。数十~5 Pa (パスカル) 程度のガス圧では、酸化膜のエッチングに良好なプラズマを発生させることができる。しかし、0.2 μm程度以下のパターン寸法の微細化にともない、処理形状の垂直化がより強く要求されるようになってきており、このためには、ガス圧の低下が必須になって来ている。

【0013】しかし、上記した2周波励起法やM-R I E法では、4 Pa以下(0.4~4 Pa)で $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上の所望の密度のプラズマを安定に生成させることが困難である。例えば、上記2周波励起法では、プラズマ励起周波数を高くしていても、50 MHz程度以上ではプラズマ密度があまり増加しないか、逆に低下する減少が出てきて、0.4~4 Paの低ガス圧でプラズマ密度を $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上にするには困難である。

【0014】また、M-R I E法では、試料表面に生ずる電子のローレンツ力による電子の閉じ込め作用により生成されるプラズマ密度は、試料全面で均一でなければならない。しかし、 $E \times B$ のドリフトにより、一般にプラズマ密度に面内の片寄りが生じる欠点がある。試料表面に直接、電子の閉じ込め作用で形成されるプラズマ密度の片寄りは、電界強度の強い試料近傍のシース付近で発生するため、拡散等の方法によって補正することはできない。

【0015】この解決法として特開平7-288195号公報に記載されている様に、 $E \times B$ による電子のドリフト方向に磁界強度が弱くなる様に磁石を配置することにより、試料に平行な磁場の最大値として200 Gaussを加えても、偏りの無い均一なプラズマが得られる。しかし、磁界強度分布を一度固定すると、プラズマが均一となる条件がある特定の狭い範囲に限定されるため、処理条件の変化には容易に追従できない欠点がある。特に、φ300以上の大口径試料に対し、電極間の距離が20 mm程度以下で狭い場合、試料端部上の圧力より試料中央部上の圧力が1割以上高くなり、試料上の圧力差を避けるため試料台と対向電極間の間隔を30 mm以上

に設定する場合、困難性が特に増す傾向にある。

【0016】このように、上記した2周波励起法やM-R I E法では、0.4~4 Paの低圧で、 $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ のプラズマ密度をφ300 mmの試料面内で均一にすることは困難である。従って、2周波励起法やM-R I E法では、φ300 mm以上の大口径のウェハに対し、均一でかつ高速加工性を有して0.2ミクロン径以下の加工を、下地(SiやSiN等)との選択比を高く加工することは困難な状況である。

10 【0017】一方、低ガス圧によるプラズマ密度を大幅に増加させる方法として、上記従来技術中の特開昭56-13480号公報に記載されたものがある。しかし、この方式では、ガスの解離が進みすぎ、フッ素と炭素とを含有するガスを用いてシリコン酸化膜や窒化膜等をエッチングした場合、フッ素原子/分子やフッ素イオンが多量に発生し、所望の下地(Si等)との選択比が得られないという欠点があった。RF電力の誘導電磁界を用いるICP法も上記ECR法と同様に解離が進みすぎる欠点があった。

20 【0018】また、処理ガスを試料の周辺から排気する構成が一般に取られており、この場合、試料中央部の密度が高く、試料周辺部のプラズマ密度が低くなる傾向となり、試料全面での処理の均一性がそこなわれる欠点があった。この欠点を改善するため試料の周辺付近に環状の土手(フォーカスリング)を設け、ガス流を激ませることが行われているが、この土手に反応生成物が付着し、異物発生源となり歩留まりが低下する欠点を持っていた。

30 【0019】一方、試料に入射するイオンのエネルギー制御するため、試料を載置する電極に正弦波のRFバイアスを加えることが行われている。その周波数として数100 KHz~13.56 MHzが用いられているが、この周波数帯では、シース内の電界の変化にイオンが追従するため入射するイオンのエネルギー分布が、低いエネルギー側と高いエネルギー側との2つでピークを持つダブルピーク型となっていた。高いエネルギー側のイオンは、処理速度は高いが、試料にダメージを与え、低いエネルギー側のイオンは処理速度が低い欠点があり、ダメージをなくそうとすると処理速度が低下し、処理速度を上げようとするとダメージが問題となる欠点があった。一方、RFバイアス周波数を例えば50 MHz程度以上の高い値とすると、入射するエネルギー分布はそろってシングルピークに近づくが、プラズマ生成にそのエネルギーの大半が使われ、シースに加わる電圧が大幅に低下するため、入射イオンのエネルギーを単独に制御することが困難になる欠点があった。

40 【0020】また、上記従来技術中、特開昭62-280378号公報や特開平6-61182号公報に記載のパルスバイアス電源方式は、試料台電極と試料との間に静電吸着用誘電体層を使用して試料にパルスバイアスを

印加する場合の検討がなされておらず、静電吸着方式にそのまま適用するとイオン電流の流入に伴い静電吸着膜の両端間に発生する電圧の増加によりプラズマと試料表面間に印加されるイオン加速電圧が低下し、イオンエネルギー分布が広がるため、試料に十分な温度制御を行いながら、必要とする微細パターンの処理に対処することができない欠点があった。

【0021】また、USP 5, 320, 982号明細書に記載された従来の正弦波出力バイアス電源方式では、周波数が高くなると、シース部のインピーダンスがプラズマ自身のインピーダンスに近づくか、それ以下になるため、バイアス電源により試料近傍のシース付近で不要なプラズマが生じ、イオンの加速に有効に使われなくなるとともにプラズマ分布も悪化し、バイアス電源によるイオンエネルギーの制御性が失われる欠点があった。

【0022】さらにまた、プラズマ処理においては、イオン量、ラジカル量及びラジカル種を適正に制御することが、性能向上のために重要であるが、従来はイオン源やラジカル源となるガスを処理室に流入させ、処理室内でプラズマを発生させて、イオンとラジカルを同時に発生させていたため、試料の処理が微細化するにつれ、その制御の限度が明白となりつつある。

【0023】また、先に述べた Jap. J. Appl. Phys., 28, 10 の VHF 帯のサイクロトロン共鳴を利用した例では、試料台に印加するバイアス電源の設置バイアス電圧を試料面全面にわたって均一に加えるための手段等述べられていない。また、処理室の高さは 200 mm 程度以上となっており、対向電極での表面反応有効に活用する構成とはなっておらず、この構成で高い選択比を得ることは困難である。

【0024】本発明の目的は、過度にガスの解離を進めず $\phi 300$ mm 以上の大口径で均一なプラズマを得ることにより、大口径の試料に対する微細パターンの精密な加工が容易なプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0025】本発明の他の目的は、大口径の試料の全面にわたって均一かつ高速な処理、特に酸化膜処理を施すことができるプラズマ処理装置およびその処理方法を提供することにある。

【0026】本発明の他の目的は、試料中の絶縁膜（例えば SiO_2 , SiN , BPSG 等）に対するプラズマ処理の選択比を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0027】本発明の他の目的は、狭いイオンエネルギー分布を得て安定して低ダメージで制御性良くプラズマ処理の選択比を向上できるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0028】本発明の他の目的は、試料の静電吸着により温度制御性を改善し、必要とする微細パターンの処理を精度良く安定して行うプラズマ処理装置及びプラズマ

処理方法を提供することにある。

【0029】本発明の他の目的は、イオンとラジカルを独立に制御することが可能なプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0030】

【課題を解決するための手段】本発明の特徴は、真空処理室と、一对の電極を含むプラズマ生成手段と、該真空処理室内で処理される試料を載置する試料載置面を有する試料台と、前記真空処理室を減圧する減圧手段とを有するプラズマ処理装置において、前記一对の電極間に、30 MHz ないし 300 MHz の VHF 帯の高周波電力を印加する高周波電源と、前記高周波電源により前記一对の電極間もしくはその近辺に生ずる電界と交差する方向に、静磁場もしくは低周波磁場を形成する磁場形成手段とを備え、前記一对の電極間に、前記磁場と前記電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成することにある。

【0031】本発明の他の特徴は、真空処理室と、一对の電極を含むプラズマ生成手段と、前記電極の一方を兼ねると共に該真空処理室内で処理される試料を載置する試料台と、前記真空処理室を減圧する減圧手段とを有するプラズマ処理装置において、前記一对の電極間に、50 MHz ないし 200 MHz の VHF 帯電力を印加する高周波電源と、前記高周波電源により前記一对の電極間もしくはその近辺に生ずる電界と交差する方向に、17 ガウス以上 72 ガウス以下の静磁場もしくは低周波磁場の部分を形成する磁場形成手段とを備え、前記磁場の前記試料台の面に沿う方向の成分の最大となる部分が、前記一对の電極の中央よりも前記試料台と反対側になるように設定し、前記一对の電極間に前記磁場と前記電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成することにある。

【0032】本発明の他の特徴は、真空処理室と、一对の電極を含むプラズマ生成手段と、前記電極の一方を兼ねると共に該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、前記真空処理室を減圧する減圧手段とを有するプラズマ処理装置による試料のプラズマ処理方法において、減圧手段により前記真空処理室内を減圧するステップと、磁場形成手段により、前記一对の電極間の電界と交差する方向に、10 ガウス以上 110 ガウス以下の静磁場もしくは低周波磁場の部分を形成するステップと、高周波電源により前記一对の電極間に、30 MHz ないし 300 MHz の VHF 帯電力を印加して、前記一对の電極の間に、前記磁場と前記高周波電源による電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域を形成するステップと、前記電子のサイクロトロン共鳴により生成されるプラズマにより、前記試料を処理するステップとを有することにある。

【0033】本発明によれば、過度にガスの解離を進めず、 $\phi 300$ mm 以上の大口径で飽和イオン電流分布が土

5%以下の均一なプラズマを得るために、プラズマ生成用高周波電源として、30MHzないし300MHz、好ましくは50MHzないし200MHzのVHFを用いる。一方、前記高周波電源により一対の電極間に生ずる電界と交差する方向に、静磁場もしくは低周波磁場を形成する。これにより、一対の電極間には、試料台の試料載置面に沿って該一対の電極の中央よりも試料台とは反対側に、磁場と電界との相互作用による電子のサイクロトロン共鳴領域が形成される。この電子のサイクロトロン共鳴により生成されるプラズマにより試料を処理する。

【0034】磁場は、10 Gauss以上110 Gauss以下、好ましくは17 Gauss以上72 Gauss以下の静磁場もしくは低周波(1 kHz以下)磁場の部分を有し、ガスは、0.4 Paないし4 Paの低圧とする。また、両電極間の距離を30ないし100 mm、好ましくは30ないし60 mmとする。なお、一対の電極は、それぞれ処理される試料の面積以上の面積を有するものであることは言うまでもない。

【0035】高周波電源の周波数 f として、 $50 \text{ MHz} \leq f \leq 200 \text{ MHz}$ のVHFを用いることによって、プラズマ密度はマイクロ波ECRの場合に比べて1桁ないし2桁程度低下する。また、ガスの解離も低下し、不要なフッ素原子/分子や、イオンの発生も1桁程度以上低下する。このVHF帯の周波数と、サイクロトロン共鳴を用いることによって、プラズマ密度の絶対値として、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の、適度に密度の高いプラズマが得られ、0.4-4 Paの低圧で高レートでの処理が可能となる。さらに、ガスの解離も過度に進まないために、SiやSiN等の下地との選択比を大きく悪化させることは無い。

【0036】従来の13.56 MHzの平行平板電極に比べれば、ガスの解離が少し進むが、これによるフッ素原子/分子や、イオンのわずかの増加は、電極表面やチャンバ壁面にシリコンや炭素を含む物質を設置したり、更には、これらにバイアスを加えることや、水素を含むガスを用いて水素とフッ素を結合して排出することにより改善することができる。

【0037】また、本発明によれば、両電極の間で、試料台に平行な磁場成分の最大となる部分を両電極の中央よりも試料台と反対側に設定し、試料台の試料載置面での試料に平行な磁場強度を30 Gauss以下好ましくは15 Gauss以下とすることによって、試料載置面付近で電子に働くローレンツ力($E \times B$)を小さい値にし、試料載置面でのローレンツ力による電子ドリフト効果によるプラズマ密度の不均一性の発生をなくすることができる。

【0038】本発明の他の特徴によれば、試料の中央部付近に比べ、試料の周辺部ないしはその外側付近でプラズマの生成を高める様に、電子のサイクロトロン共鳴効

果を中央に比べ、周辺部ないしはその外側で大きくする。電子のサイクロトロン共鳴効果を下げる手段としては、サイクロトロン共鳴領域と試料との距離を遠くしたり、サイクロトロン共鳴領域をなくしたり、磁場と電界との直交度合を少なくすること等により達成できる。

【0039】また、サイクロトロン共鳴磁場BC付近での磁場勾配を急にし、ECR共鳴領域を狭くすると、サイクロトロン共鳴効果を弱めることができる。ECR共鳴領域は、 $B_c(1-a) \leq B \leq B_c(1+a)$ 但し、 $0.05 \leq a \leq 0.1$ なる磁場強度Bの範囲となる。

【0040】ECR共鳴領域では解離が進むため、特にイオンの生成が盛んになる。一方、ECR共鳴領域以外の領域は、ECR共鳴領域に比べて解離が進まず、ラジカルの生成の方が盛んになる。ECR共鳴領域の幅と上部電極に加える高周波電力を調整することにより、試料の処理に適切なイオンとラジカルの発生をより独立に制御することができる。

【0041】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、高周波電源を含むプラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備え、前記高周波電源として10 MHz~500 MHzの高周波電圧を印加するとともに、前記真空処理室を0.5~4.0 Paに減圧するように構成したことにある。

【0042】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料台に接続され、該試料台にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段と、前記パルスバイアス電圧の印加に伴い前記静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の変化を抑制する、電圧抑制手段とを設けたことにある。

【0043】本発明の他の特徴は、真空処理室に設けられた対向する一対の電極の一方に試料を配置するステップと、該試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、前記試料が配置された雰囲気、エッチングガスを導入するステップと、前記雰囲気を、0.5~4.0 Paに減圧排気するステップと、10 MHz~500 MHzの高周波電圧を印加し、前記圧力下でエッチングガスをプラズマ化するステップと、該プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、前記一方の電極にパルスバイアス電圧を印加するステップとからなるプラズマ処理方法にある。

【0044】本発明の他の特徴は、対向する電極の一方の電極に試料を配置するステップと、該配置された試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップ

と、前記試料が配置された雰囲気、エッチングガスを導入するステップと、該導入されたエッチングガスをプラズマ化するステップと、該プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、該エッチング時に前記一方の電極に、250V～1000Vのパルス振幅と0.05～0.4のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加するステップからなり、前記試料中の絶縁膜（例えばSiO₂、SiN、BPSG等）をプラズマ処理することにある。

【0045】本発明の他の特徴によれば、静電吸着用誘電体層を有する静電吸着手段を備えた試料台に所定の特性のパルス状バイアス電力を印加することにより、試料の温度制御性を十分に行ない、必要とする微細パターンの処理を安定して行うことが出来る。すなわち、試料を静電吸着力によって試料台に保持する静電吸着手段と、試料台に接続され、該試料台にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備えており、周期が0.2～2μsで正方向パルス部分のdutyが1/2以下のパルスバイアスを容量素子を介して試料に加える。

【0046】また、本発明の他の特徴によれば、パルスバイアス電圧の印加に伴い静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の変化を抑制する電圧抑制手段として、パルス一周期中の静電吸着により誘電体層の両端に加わる電圧変化が、パルスバイアス電圧の大きさの1/2以下となるように構成する。具体的には、下部電極の表面に設けられた誘電体の静電チャック膜の膜厚を薄くしたり、誘電体を比誘電率の大きい材料とする。あるいはまた、パルスバイアス電圧の周期を短くして誘電体層の両端に加わる電圧の上昇を抑制する方法を採用しても良い。

【0047】本発明の他の特徴によれば、さらにまた、試料のエッチング時に前記一方の電極に、250V～1000Vのパルス振幅と0.05～0.4のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加することにより、試料中の絶縁膜（例えばSiO₂、SiN、BPSG等）に対するプラズマ処理の選択性等を向上させることができる。

【0048】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にバイアス電圧を印加するバイアス印加手段と、前記真空処理室に、ラジカル発生用ガスを予め分解する手段を有し所望量のラジカルを供給するラジカル供給手段と、前記真空処理室にイオン発生用ガスを供給する手段と、前記真空処理室にプラズマを発生させるプラズマ生成手段とを具備し、前記試料としてSiO₂を用いることにある。

【0049】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真

空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、高周波電源を含むプラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段と、前記真空処理室に、ラジカル発生用ガスを予めプラズマ化し所望量のラジカルを供給するラジカル発生用プラズマ供給手段と、前記真空処理室に、イオン発生用ガスを供給しプラズマを発生させる前記プラズマ生成手段とを備え、前記高周波電源に10MHz～500MHzの高周波電圧を印加するとともに、前記真空処理室を0.5～4.0Paに減圧するように構成されていることにある。

【0050】本発明の他の特徴によれば、イオンとラジラルの量や質を独立に制御し、静電吸着用誘電体層を有する静電吸着手段を備えた試料台に所定の特性のパルス状バイアス電力を印加することにより、試料の温度制御性を十分に行ない、必要とする微細パターンの処理を安定して行うことが出来る。

【0051】さらに、イオンとラジラルの量や質を独立に制御し、狭いイオンエネルギー分布を得て、安定して制御性良くプラズマ処理の選択性等を向上させることができる。

【0052】また、イオンとラジラルの量や質を独立に制御し、パルスバイアス電圧の印加に伴い静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の変化を抑制する電圧抑制手段として、パルス一周期中の静電吸着により誘電体層の両端に加わる電圧変化が、パルスバイアス電圧の大きさの1/2以下となるように構成する。具体的には、下部電極の表面に設けられた誘電体の静電チャック膜の膜厚を薄くしたり、誘電体を比誘電率の大きい材料とする。あるいはまた、パルスバイアス電圧の周期を短くして誘電体層の両端に加わる電圧の上昇を抑制する方法を採用しても良い。

【0053】また、本発明の他の特徴によれば、イオンとラジラルの量や質を独立に制御し、試料のエッチング時に前記一方の電極に、250V～1000Vのパルス振幅と0.05～0.4のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加することにより、試料中の絶縁膜（例えばSiO₂、SiN、BPSG等）に対する下地とのプラズマ処理の選択性等を向上させることができる。

【0054】さらに本発明の他の特徴によれば、イオンとラジラルの量や質を独立に制御し、プラズマ発生用の高周波電源として、10MHz～500MHzの高周波電圧を用い、処理室内のガス圧力を、0.5～4.0Paの低圧としている。これにより、安定したプラズマが得られる。また、このような高周波電圧を用いることによりガスプラズマの電離がよくなり、試料加工時の選択比制御が良くなる。

【0055】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施例を説明する。
まず図 1 に、本発明を対向電極型のプラズマエッチング装置へ適用した第一の実施例を示す。図 1 において、真空容器としての処理室 10 は、上部電極 12 と下部電極 15 とから成る一対の対向する電極を備えている。下部電極 15 には試料 40 が載置される。両電極 12、15 の間隙は、 $\phi 300\text{mm}$ 以上の大口径の試料を処理する時の試料面上の圧力差を 1 割以下にするために、 30mm 以上とするのが望ましい。また、フッ素原子や分子やイオンを減じるために、上部/下部電極表面上での反応を有効に活用する観点から、 100mm 以下、好ましくは 60mm 以下とするのが望ましい。上部電極 12 には、マッティングボックス 162 を介して高周波エネルギーを供給する高周波電源 16 が接続されている。161 は高周波電源変調信号源である。上部電極 12 とアース間には、バイアス電源 17 の周波数成分に対しては低インピーダンスとなり、高周波電源 16 の周波数成分に対しては高インピーダンスとなるフィルタ 165 が接続されている。

【0056】試料台にほぼ平行に設置された上部電極 12 の表面積は、処理される試料 40 の面積よりも大きくし、バイアス電源 17 の印加により試料面上のシースに効率良くかつ均一に電圧が加わるように構成している。

【0057】上部電極 12 の下側表面には、シリコン、カーボンもしくは SiC からなるフッ素の除去板としての上部電極カバー 30 が設けられている。また、上部電極 12 の上部には、ガスを所望の分布に拡散するガス拡散板 32 を備えたガス導入室 34 が設けられている。処理室 10 には、ガス供給部 36 からガス導入室 34 のガス拡散板 32、上部電極 12 及び上部電極カバー 30 に設けられた孔 38 を介して、試料のエッチング等の処理に必要なガスが供給される。外室 11 は、外室にバルブ 14 を介して接続された真空ポンプ 18 により真空排気され、処理室 10 が試料の処理圧力に調整される。13 は絶縁体である。処理室 10 の周囲には、プラズマ密度を高めると共に処理室中の反応の均質化を図るために、放電止じ込め用リング 37 が設けられている。放電止じ込め用リング 37 には、排気用の隔間を設けている。

【0058】上部電極 12 の上には、電極間に形成された電界 E に直交し、試料 40 の面に平行な磁場を形成するための磁場形成手段 200 が設けられている。磁場形成手段 200 は、コア 201、電磁コイル 202、絶縁体 203 を具備している。上部電極 12 の構成材料としては、非磁性材導電体、例えばアルミニウムやアルミニウム合金がある。処理室 10 の構成材料としては、非磁性材、例えばアルミニウムやアルミニウム合金、アルミナ、石英、SiC 等がある。コア 201 は、磁束が処理室 10 の中央上部から上部電極 12 に向かい、上部電極 12 に沿って略平行に外周に伸びるような磁界 B を形成すべく、コア部 201A、201B を有する断面略 E 字

型の軸回転対称構造となっている。磁場形成手段 200 によって両電極間に形成される磁場は、 10Gauss 以上 110Gauss 以下、好ましくは 17Gauss 以上 72Gauss 以下の静磁場、あるいは低周波磁場 (1KHz 以下) の、サイクロトロン共鳴を生じる部分を有する。

【0059】サイクロトロン共鳴を生じる磁場強度 B_c (ガウス) は、公知の通り、プラズマ生成用高周波の周波数 f (MHz) に対し $B_c = 0.357 \times f$ (MHz) の関係にある。

【0060】なお、本発明における 2 電極 12、15 は、相対向する一対の電極が実質的に平行であれば良く、プラズマ生成特性等の要求から電極 12、15 が若干の凹面あるいは凸面を持つものであっても良い。この様な 2 電極型では、電極間の電界分布を容易に均一化でき、この電界に直交する磁場の均一性を向上することにより、サイクロトロン共鳴によるプラズマの生成を均一にすることが比較的容易である特徴を持つ。

【0061】試料 40 を載置保持する下部電極 15 は、2 極式の静電チャック 20 を備えた構成となっている。すなわち、下部電極 15 は、外側の第 1 下部電極 15A と、その内側上方に絶縁体 21 を介して配置された第 2 下部電極 15B によって構成され、第 1、第 2 両下部電極の上表面に静電吸着用誘電体層 (以下、静電吸着膜と略称する) 22 が設けられている。第 1、第 2 両下部電極間には、高周波成分カット用のコイル 24A、24B を介して直流電源 23 が接続されており、第 2 下部電極 15B 側が正になるようにして両下部電極間に直流電圧を印加する。これにより、静電吸着膜 22 を介して試料 40 と両下部電極間に作用するクーロン力により、試料 40 が下部電極 15 上に吸着、保持される。静電吸着膜 22 としては、例えば、酸化アルミニウム、酸化アルミニウムにチタン酸化物を混合したものなどの誘電体を使用することができる。また、電源 23 としては、数 100V の直流電源を用いる。

【0062】また、下部電極 15 (15A、15B) には、 $20\text{V} \sim 1000\text{V}$ の振幅のパルスバイアスを供給するパルスバイアス電源 17 が、DC 成分をカットするブロッキングコンデンサ 19A、19B を介してそれぞれ接続されている。

【0063】これまで、静電チャックとして、2 極式を用いて説明したが、他の方式の静電チャック、例えば、単極式や n 極式 ($n \geq 3$) でもよい。

【0064】エッチング処理を行う場合、処理の対象物である試料 40 は、処理室 10 の下部電極 15 の上に載置され、静電チャック 20 により吸着される。一方、ガス供給部 36 からガス導入室 34 を介して、試料 40 のエッチング処理に必要なガスが処理室 10 に供給される。外室 11 は真空ポンプ 18 により真空排気され、処理室 10 が試料の処理圧力、例えば $0.4 \sim 4.0\text{Pa}$

(バスカル) になるように減圧排気される。次に、高周波電源16より30MHz～300MHz、望ましくは50MHz～200MHzの高周波電力を出力して、処理室10の処理ガスをプラズマ化する。

【0065】30ないし300MHzの高周波電力と磁場形成手段200により形成された10ガウス以上110ガウス以下の静磁場の部分とにより、上部電極12と下部電極15との間に電子のサイクロトロン共鳴を生じさせ、この場合、0.4～4.0Paの低ガス圧でかつ高い密度のプラズマを生成させる。

【0066】他方、下部電極15に、パルスバイアス電源17から電圧20V～1000Vで周期が0.1μs～10μs、好ましくは、0.2μs～5μsで正のパルス部分のデューティが0.05～0.4のバイアスを印加し、プラズマ中の電子やイオンを制御して試料40に対するエッチング処理を行う。

【0067】エッチングガスは、ガス拡散板32で所望の分布にされた後、上部電極12及び上部電極カバー30に明けられた孔38を通して処理室10に注入される。

【0068】また上部電極カバー30には、カーボンやシリコンあるいはこれらを含むものを用い、フッ素や酸素成分を除去してレジストやシリコン等の下地との選択比を向上させる。

【0069】大口径の試料の微細加工性を向上させるには、プラズマ発生用高周波電源16としてより高い周波数のものを用い、低ガス圧領域での放電の安定化を図るのがよい。本発明では、0.4Paないし4Paの低圧ガスで 5×10^{10} ないし $5 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ のプラズマ密度で、かつ、過度にガスの解離を進めず大口径で均一なプラズマを得るために、上部電極12に、プラズマ生成用高周波電源16を接続する。他方、試料を載置した下部電極15には、イオンエネルギー制御用のバイアス電源17を接続しこれら両電極間の距離を、30ないし100mmとする。

【0070】また、プラズマ生成用高周波電源16として、30MHzないし300MHz、好ましくは50MHzないし200MHzのVHFを用い、10ガウス以上110ガウス以下、好ましくは17ガウス以上72ガウス以下の静磁場もしくは低周波(1KHz以下)磁場の部分との相互作用により、上部電極12と下部電極15の間に、電子のサイクロトロン共鳴を生じさせる。

【0071】図2に、電子のサイクロトロン共鳴を生じ*

$$e_0 = \frac{e^2 E^2}{2m} \left(\frac{\nu}{\omega^2 + \nu^2} \right)$$

$$e_1 = \frac{e^2 E^2 D}{4m} \left(\frac{1}{\nu^2 + (\omega - \omega_c)^2} + \frac{1}{\nu^2 + (\omega + \omega_c)^2} \right) \cdots \cdots \text{数1}$$

但し、Eは電界強度

* 磁場を加えた状態で、プラズマを発生させる高周波電源の周波数を変化させたときの、プラズマ密度の変化の一例を示す。供試ガスはアルゴンに C_4F_8 を2～10%加えたもの、処理室の圧力は1Paである。プラズマ密度は、 $f = 2450 \text{MHz}$ のマイクロ波ECRの場合を1として基準値化している。なお、破線は、磁場無しの場合を示している。

【0072】 $50 \text{MHz} \leq f \leq 200 \text{MHz}$ においては、プラズマ密度は、マイクロ波ECRの場合に比べて1桁程度ないし2桁程度低下する。また、ガスの解離も低下し、不要なフッ素原子/分子や、イオンの発生も1桁以上低下する。このVHF帯の周波数と、サイクロトロン共鳴を用いることによって、プラズマ密度の絶対値として、 $5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ 以上の、適度に密度の高いプラズマが得られ、0.4～4Paの低圧で高レートの処理が可能となる。さらに、ガスの解離も過度に進まないために、 SiO_2 等の絶縁膜に対してSiやSiN等の下地との選択比を大きく悪化させることは無い。

【0073】 $50 \text{MHz} \leq f \leq 200 \text{MHz}$ においては、従来の13.56MHzの平行平板電極に比べて、ガスの解離が少し進むが、これによるフッ素原子/分子や、イオンのわずかの増加は、電極表面やチャンバ壁面にシリコンや炭素を含む物質を設置して改善することができる。あるいは更に、この電極表面やチャンバ壁面にバイアスを加えることにより、フッ素を炭素やシリコンと化合させて排出したり、水素を含むガスを用いて水素とフッ素とを化合させて排出して改善することができる。

【0074】高周波電源の周波数が200MHz以上、特に300MHz以上になると、プラズマ密度が高くなるが、ガスの解離が過度になりフッ素原子/分子やイオンの増加が大きくなり過ぎ、SiやSiN等の下地との選択比を大きく悪化させるので好ましくない。

【0075】図3に、サイクロトロン共鳴時と無共鳴時とに電子が高周波電界から得るエネルギー利得kを示す。無磁場時に高周波の1周期中に電子が得るエネルギーを e_0 とし、サイクロトロン共鳴磁場 $B_c = 2\pi f \cdot (m/e)$ を印加した時に高周波の1周期中に電子が得るエネルギーを e_1 としたとき、 e_1, e_0 は、数1のようになる。

【0076】

【数1】

【0077】これらの比 ($=e1/e0$) を k としたとき、 k は、次式で表される。但し、 m : 電子の質量、 e : 電子の電荷、 f : 印加周波数

$$K = (1/2)(\nu^2 + \omega^2) \{ 1/(\nu^2 + (\omega - \omega_c)^2) + (1/(\nu^2 + (\omega + \omega_c)^2)) \}$$

但し、 ν : 衝突周波数、 ω : 励起角周波数、 ω_c : サイクロトロン角周波数

一般に、 k の値は、ガス圧が低い程、周波数が高い程大きくなる。図3は、 A_r (アルゴン) ガスの場合であり、圧力 $P = 1 \text{ Pa}$ においては、 $f \geq 50 \text{ MHz}$ で $k \geq 150$ となり、磁場が無い時に比べて低ガス圧下においても解離が促進される。サイクロトロン共鳴効果は、圧力 $P = 1 \text{ Pa}$ においては、 20 MHz 程度以下の周波数では急速に小さくなる。図2に示した特性でも分かるように、 30 MHz 以下の周波数では、磁場無しの場合と差が少なく、サイクロトロン共鳴効果は小さい。

【0078】なお、ガス圧を低くすればサイクロトロン共鳴効果は高まるが、 1 Pa 以下ではプラズマの電子温度が高まり、解離が進み過ぎるという逆効果が大きくなる。ガスの過度の解離を抑えて、かつ、プラズマ密度を $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上にするには、ガスの圧力として 0.4 Pa から 4 Pa 、好ましくは 1 Pa 程度から 4 Pa の間が良い。

【0079】サイクロトロン共鳴効果を発揮させるためには、 k の値を数十以上とする必要がある。図2や図3からも明らかなように、過度にガスの解離を進めずにサイクロトロン共鳴効果を有効に利用するには、ガス圧が 0.4 Pa ないし 4 Pa の圧力では、プラズマ生成用高周波電源として、 30 ないし 300 MHz 、好ましくは 50 ないし 200 MHz の VHF を用いる必要がある。

【0080】図4は、従来のマグネトロン方式チャンバで上部電極を接地し、下部電極上に均一な横方向の磁界 B を与えると共に、 68 MHz の高周波電力を印加した時の、試料に誘起されるイオン加速電圧 VDC と、試料内の誘起電圧 VDC のバラツキ ΔV を示している。磁場 B の強度を上げると電子に働くローレンツ力によりイオン加速電圧 VDC が小さくなり、プラズマ密度が増加する。しかし、従来のマグネトロン放電型の場合、磁場 B の強度が 200 ガウス程度と大きいと、プラズマ密度の面内の均一性が悪化し、誘起電圧のバラツキ ΔV が大きくなり、試料のダメージが増大する欠点がある。

【0081】図4から、従来のマグネトロン放電型の 200 ガウスの場合に比べ、 ΔV を $1/5 \sim 1/10$ 以下にするには、磁場 B の強度は、試料面付近において 30 ガウス以下、好ましくは 15 ガウス以下の小さな値とするのが、ダメージを無くす上から望ましい。

【0082】サイクロトロン共鳴領域は、上部電極12と下部電極15の中間で、かつ両電極の中間位置よりもやや上部電極側に形成される。図5は、横軸が試料面(下部電極15)から上部電極12までの距離、縦軸が

磁場を示している。図5の例は、印加周波数 $f1 = 100 \text{ MHz}$ 、 $Bc = 37.5 \text{ G}$ 、電極間隔 $= 50 \text{ mm}$ の条件で、 ECR 領域が、試料面から 30 mm 付近に形成されている。

【0083】このように本発明では、上部電極12と下部電極15との間で、下部電極15 (試料載置面) に平行な磁場成分の最大となる部分を、上部電極面、もしくは両電極の真中より上部電極側に設定する。これによって、下部電極面での試料に平行な磁場強度を 30 ガウス以下好ましくは 15 ガウス以下として、下部電極面付近で電子に働くローレンツ力 ($E \times B$) を小さい値とし、下部電極面でのローレンツ力による電子ドリフト効果によるプラズマ密度の面内の不均一性の発生をなくすることができる。

【0084】図1の実施例の磁場形成手段200によれば、図6に示すように、 ECR 領域が試料の中央部付近を除き、下部電極15 (試料載置面) からほぼ同じ高さの位置に形成される。従って、大口径の試料に対して、均一なプラズマ処理を行うことができる。ただし、試料の中心付近では、 ECR 領域が試料載置面から高い位置に形成されている。 ECR 領域と試料台間は、 30 mm 以上の距離があるため、この間でイオンやラジカル試は拡散し平均化されるので、通常のプラズマ処理には問題が無い。ただし、試料の全面を均一にプラズマ処理するためには、 ECR 領域が試料の全面に亘り試料面から同じ高さの位置に、あるいは試料の外側の ECR 領域が中心付近の ECR 領域よりも若干試料台側に近くなるように形成されるのが望ましい。この対策については、後で詳細に述べる。

【0085】以上述べたように、図1に示す本発明の実施例では、プラズマ発生用高周波電源16として、 30 ないし 300 MHz の高周波電力を用い、かつ電子サイクロトロン共鳴によりガスの解離を進めているため、処理室10内のガス圧力が 0.4 Pa ないし 4 Pa の低圧の下でも安定したプラズマが得られる。また、シース中でのイオンの衝突が少なくなるので、試料40の処理に際して、イオンの方向性が増し垂直な微細加工性を向上させることができる。

【0086】処理室10の周囲は、放電止じ込め用リング37によってプラズマを試料40付近に極在化させることになり、プラズマ密度の向上を図ると共に、放電止じ込め用リング37より外の部分への不要なデポジット物の付着を最小とさせる。

【0087】なお、放電止じ込め用リング37としては、カーボンやシリコンあるいは SiC 等の半導体や導電材を用いる。この放電止じ込め用リング37を高周波電源に接続しイオンによるスパッタを生じさせると、リング37へのデポ付着を低減すると共にフッ素の除去効果も持たせることができる。

【0088】なお、試料40の周辺の絶縁体13上に、

カーボンやシリコンあるいはこれらを含むサセブタカバー 39 を設けると、SiO₂等の絶縁膜をフッ素を含むガスを用いてプラズマ処理を行う場合、フッ素を除去出来るので、選択比の向上に役立つ。この場合、バイアス電源 17 の電力の一部がサセブタカバー 39 に印加されるように、サセブタカバー 39 の下部分の絶縁体 13 の厚みを 0.5mm~5mm 程度に薄くすると、イオンによるスパッタ効果により上記効果が促進される。

【0089】また、直流電源 23 の電位により、誘電体の静電吸着膜 22 を挟んで下部電極 15 (15A、15B) と試料 40 を介して静電吸着回路が形成される。この状態で試料 40 は静電気力により下部電極 15 に係止、保持される。静電気力により係止された試料 40 の裏面には、ヘリウム、窒素、アルゴン等の熱伝導ガスが供給される。熱伝導ガスは、下部電極 15 の凹部に充填されるが、その圧力は、数百パスカルから数千パスカル程度とする。なお、静電吸着力は、ギャップが設けられた凹部の間では、ほとんどゼロであり、下部電極 15 の凸部においてのみ静電吸着力が発生しているとみなせる。しかし、後で述べるように、直流電源 23 に電圧を適切に設定して、熱伝導ガスの圧力に十分耐えることのできる吸着力を設定することができるので、熱伝導ガスにより試料 40 が動いたり飛ばされたりすることはない。

【0090】ところで、静電吸着膜 22 は、プラズマ中のイオンに対するパルスバイアスのバイアス作用を減じる様に作用する。正弦波電源を用いてバイアスをしている従来の方法でもこの作用は生じているが、顕在化していない。しかし、パルスバイアスではイオンエネルギー幅が狭いという特徴が犠牲になってしまうため、問題が大きくなる。

【0091】本発明では、パルスバイアスの印加に伴い静電吸着膜 22 の両端間に発生する電圧の上昇を抑制し、パルスバイアスの効果を高めるために、電圧抑制手段を設けたことに 1 つの特徴がある。

【0092】電圧抑制手段の一例としては、パルスバイアスの印加に伴い静電吸着膜の両端間に生ずるバイアス電圧の一周期中の電圧の変化 (V_α) が、パルスバイアス電圧の大きさ (V_p) の 1/2 以下となるように構成するのが良い。具体的には、下部電極 15 の表面に設けら

$$V_{cm} = \frac{q}{c} = \frac{i_i \times (T_0 - T_i)}{(\epsilon_r \epsilon_0 / d) \times K}$$

【0100】但し、q : (T₀ - T_i) 期間に試料に流入するイオン電流密度 (平均値)

c : 単位面積当りの静電吸着容量 (平均値)

i_i : イオン電流密度, ε_r : 静電吸着膜の比誘電率

d : 静電吸着膜の膜厚 ε₀ : 真空中の誘電率 (定数)

K : 静電吸着膜の電極被覆率 (≦ 1)

* れた誘電体からなる静電吸着膜の膜厚を薄くしたり、誘電体を誘電率の大きい材料とすることにより、誘電体の静電容量を増す方法がある。

【0093】あるいはまた、他の電圧抑制手段として、パルスバイアス電圧の周期を短くして電圧 V_α の上昇を抑制する方法もある。さらに、静電吸着回路とパルスバイアス電圧印加回路を別な位置、例えば試料が配置保持される電極とは別の対向する電極、あるいは別に設けた第三の電極に、分離して設ける方法も考えられる。

【0094】次に、図 7~図 13 を用いて、本発明における電圧抑制手段によりもたらされるべき、パルスバイアス一周期中の静電吸着膜の両端間に生じる電圧の変化 (V_α) とパルスバイアス電圧の関係について詳細に述べる。

【0095】まず、本発明のパルスバイアス電源 17 において使用する望ましい出力波形の例を図 7 に示す。図中、パルス振幅 : V_p, パルス周期 : T₀, 正方向パルス幅 : T_i とする。

【0096】図 7 (A) の波形をブロッキングコンデンサ、静電吸着用誘電体層 (以下、静電吸着膜と略称する) を経由して試料に印加した時、別の電源によりプラズマを発生させた状態での定常状態での試料表面の電位波形を図 7 (B) に示す。

ただし、波形の直流成分電圧 : V_{DC}
プラズマのフローティングポテンシャル : V_f
静電吸着膜の両端間に生じる電圧の一周期中の最大電圧 : V_α
とする。

【0097】図 7 (B) 中、V_f より正電圧となっている (I) なる部分は、主に電子電流のみを引き込んでい

る部分であり、V_f より負の部分は、イオン電流を引き込んでいる部分、V_f の部分は、電子とイオンとが釣りあっている部分 (V_f は通常数 V~十数 V) である。

【0098】なお、図 7 (A) および今後の説明では、ブロッキングコンデンサの容量や試料表面近辺の絶縁体による容量は静電吸着膜による容量 (以下静電吸着容量と略称する) に比べて十分大きいと仮定している。V_α の値は次の式 (数 2) で表わされる。

【0099】

【数 2】

..... 数 2

図 8 及び図 9 に、パルスデューティ比 : (T_i/T₀) は一定のまま T₀ を変化させた時の試料表面の電位波形とイオンエネルギーの確率分布を示す。但し、T₀₁, T₀₂ : T₀₃ : T₀₄ : T₀₅ = 16 : 8 : 4 : 2 : 1 とする。

【0101】図 8 の (1) に示す様に、パルス周期 T₀ が大きすぎると、試料表面の電位波形は矩形波から大きくはずれ、三角波になり、イオンエネルギーは図 9 に示

すように、低い方から高い方まで一定の分布となり好ましくない。

【0102】図8の(2)～(5)に示す様に、パルス周期 T_0 を小さくするにつれて、 (V_{α}/v_p) は1よりも小さな値となり、イオンエネルギー分布も狭くなってゆく。

【0103】図8、図9において $T_0=T_{01}$, T_{02} , T_{03} , T_{04} , T_{05} は、 $(V_{\alpha}/v_p)=1, 0.63, 0.31, 0.16, 0.08$ に対応している。次に、パルスのオフ(T_0-T_i)期間と、静電吸着膜の両端間に生じる電圧の一周期中の最大電圧 V_{α} の関係を図10に示す。

【0104】静電吸着膜として、厚み0.3mmの酸化チタン含有アルミナ($\epsilon_r=10$)を用いて電極の約50%を被膜($K=0.5$)した場合、イオン電流密度 $i_i=5\text{mA}/\text{cm}^2$ の中密度プラズマ中での V_{α} の値の変化を図10の太線(標準条件の線)で示す。

【0105】図10から明らかなように、パルスのオフ(T_0-T_i)期間が大きくなるにつれ、静電吸着膜の両端間に生じる電圧 V_{α} はそれに比例して大きな値となり、通常使用されるパルス電圧 v_p 以上になってしまう。

【0106】例えば、プラズマエッチング装置においては、ダメージ、下地やマスクとの選択性、形状等により通常、

ゲートエッチングでは $20\text{volt} \leq v_p \leq 100\text{volt}$

メタルエッチングでは $50\text{volt} \leq v_p \leq 200\text{volt}$

酸化膜エッチングでは $250\text{volt} \leq v_p \leq 1000\text{volt}$ に制限される。

【0107】後述の $(V_{\alpha}/v_p) \leq 0.5$ の条件を満たそうとすると標準状態では、 (T_0-T_i) の上限は次のようになる。

ゲートエッチングでは $(T_0-T_i) \leq 0.15\mu\text{s}$

メタルエッチングでは $(T_0-T_i) \leq 0.35\mu\text{s}$

酸化膜エッチングでは $(T_0-T_i) \leq 1.2\mu\text{s}$

ところで、 T_0 が $0.1\mu\text{s}$ に近くなると、イオンシースのインピーダンスがプラズマのインピーダンスに近づくかそれ以下となるため、不要なプラズマの発生を生じると共に、バイアス電源がイオンの加速に有効に使われなくなってくる。このため、バイアス電源によるイオンエネルギーの制御性が悪化するため、 T_0 は、 $0.1\mu\text{s}$ 以上、好ましくは $0.2\mu\text{s}$ 以上が良い。

【0108】従って、 v_p を低くおさえられるゲートエッチャ等においては、静電吸着膜の材料を比誘電率が10～100と高いもの、(例えば Ta_2O_5 で $\epsilon_r=25$)に変えたり、絶縁耐圧を低下させず膜厚を薄く、例えば $10\mu\text{m} \sim 400\mu\text{m}$ 、望ましくは $10\mu\text{m} \sim 10$

$0\mu\text{m}$ にしたりする必要がある。

【0109】図10には、単位面積当りの静電容量 c を、それぞれ2.5倍、5倍、10倍に増加させた時の V_{α} の値も併記した。静電吸着膜の改善を行っても現状では静電容量 c を数倍にする改善が限度とみられ、 $V_{\alpha} \leq 300\text{volt}$, $c \leq 10c_0$ とすると、 $0.1\mu\text{s} \leq (T_0-T_i) \leq 10\mu\text{s}$ となる。イオンの加速によりプラズマ処理に有効な部分は (T_0-T_i) の部分であり、パルスデューティ(T_i/T_0)としてはできるだけ小さい方が好ましい。

【0110】時間平均も加味した、プラズマ処理の効率として (V_{α}/v_p) で見積ったのが、図11である。 (T_i/T_0) を小さくし、 (V_{α}/v_p) を大きくするのが好ましい。

【0111】プラズマ処理の効率として $0.5 \leq (V_{\alpha}/v_p)$ を仮定し、後述の条件、 $(V_{\alpha}/v_p) \leq 0.5$ を入れると、パルスデューティは、 $(T_i/T_0) \leq 0.4$ 程度となる。

【0112】なお、パルスデューティ(T_i/T_0)は小さいほどイオンエネルギーの制御に有効であるが、必要以上に小さくするとパルス幅 T_i が $0.05\mu\text{s}$ 程度の小さい値となり、数十MHzの周波数成分を多く含むようになり、後述するような、プラズマ発生用高周波成分との分離も難しくなる。図11に示すように、 $0 \leq (T_i/T_0) \leq 0.05$ 間での (V_{α}/v_p) の低下はわずかで、 (T_i/T_0) として 0.05 以上で特に問題は生じない。

【0113】ここで図12に、ゲートエッチングの例として、塩素ガス 1.3Pa をプラズマ化した時のシリコンと下地の酸化膜とのエッチングレート ESi および ESiO_2 のイオンエネルギー依存性を示す。シリコンのエッチングレート ESi は低イオンエネルギーでは一定値になる。イオンエネルギーが 10V 程度以上では、イオンエネルギーの増加に従って、 ESi も増加する。一方下地となる酸化膜のエッチングレート ESiO_2 は、イオンエネルギーが 20V 程度以下では0であり、 20V 程度を越えると、イオンエネルギーと共に ESiO_2 は増加する。

【0114】その結果、イオンエネルギーが 20V 程度以下では下地との選択比 ESi/ESiO_2 が ∞ となる領域が存在する。イオンエネルギーが 20V 程度以上では、下地との選択比 ESi/ESiO_2 は、イオンエネルギーの増加と共に急速に低下する。

【0115】図13は、絶縁膜の一種である酸化膜(SiO_2 , BPSG , HISO 等)のエッチングの例として、 CF_4 ガス 1.0Pa をプラズマ化した時の、酸化膜とシリコンとのエッチングレート ESiO_2 および ESi のイオンエネルギー分布を示すものである。

【0116】酸化膜のエッチングレート ESiO_2 は、低イオンエネルギーでは負の値となり、デボを生じる。

イオンエネルギーが400V付近にて ESiO_2 が急速に正に立ち上がり、その後は、徐々に増加する。一方下地となるシリコンのエッチングレート ESi は、 ESiO_2 よりイオンエネルギーの高い所で(-) (エッチング) から(+) (エッチング) となり徐々に増加する。

【0117】この結果、 ESiO_2 が(-)から(+)に変化する付近にて、下地との選択比 ESiO_2/ESi が ∞ となり、それ以上で ESiO_2/ESi はイオンエネルギーの増加と共に急速に低下する。

【0118】図12、図13で、実際のプロセスへの適用に対しては、 ESi や ESiO_2 の値や、 ESi/ESiO_2 や、 ESiO_2/ESi の値の大きさを考慮して、バイアス電源を調整してイオンエネルギーを適正値にする。

【0119】また、ジャストエッチング(下地膜が現われるまでのエッチング)まではエッチングレートの大きさを優先し、ジャストエッチ後は選択比の大きさを優先してイオンエネルギーをジャストエッチの前後に変更すれば、更に良い特性が得られる。

【0120】ところで図12、図13に示した特性は、イオンのエネルギー分布が狭い部分に限定された時の特性である。イオンのエネルギー分布が広い場合の各エッチングレートはその時間平均値となるため、最適値に設定することが出来ず、選択比は大幅に低下してしまう。

【0121】実験によると、 (V_{α}/v_p) は0.3以下程度であれば、イオンエネルギーの広がりは $\pm 15\%$ 程度以下となり、図12や図13の特性でも30以上の高い選択比が得られた。また、 $(V_{\alpha}/v_p) \leq 0.5$ であれば、従来の正弦波バイアス法に比べて選択比等の改善が図れた。

【0122】このように、静電吸着膜の両端間に生じるパルス電圧の一周期中の電圧変化(V_{α})を抑える電圧抑制手段として、 V_{α} が、パルスバイアス電圧の大きさ v_p の $1/2$ 以下となるように構成するのが良く、具体的には、下部電極15の表面に設けられた誘電体の静電チャック膜22の膜厚を薄くしたり、誘電体を誘電率の大きい材料とすることにより、誘電体の容量を増すことができる。あるいは、パルスバイアス電圧の周期を、 $0.1\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$ 、好ましくは $0.2\mu\text{s} \sim 5\mu\text{s}$ (繰り返し周波数: $0.2\text{MHz} \sim 5\text{MHz}$ に対応)と短くし、パルスデューティ(T_1/T_0)を、 $0.05 \leq (T_1/T_0) \leq 0.4$ として静電吸着膜の両端の電圧変化を抑制する。

【0123】あるいはまた、上記誘電体の静電吸着膜の膜厚と、誘電体の比誘電率及びパルスバイアス電圧の周期の幾つかを組み合わせ、静電吸着膜の両端間に生じる電圧 V_{α} の変化が上記した $(V_{\alpha}/v_p) \leq 0.5$ の条件を満たすようにしても良い。

【0124】次に、図1の真空処理室を、絶縁膜(例えば SiO_2 、 SiN 、BPSG等)のエッチングに用い

た実施例について述べる。

【0125】ガスとしては、 $\text{C}_4\text{F}_8: 1 \sim 5\%$ 、 $\text{Ar}: 90 \sim 95\%$ 、 $\text{O}_2: 0 \sim 5\%$ もしくは、 $\text{C}_4\text{F}_8: 1 \sim 5\%$ 、 $\text{Ar}: 70 \sim 90\%$ 、 $\text{O}_2: 0 \sim 5\%$ 、 $\text{CO}: 10 \sim 20\%$ 、の組成のものを用いる。プラズマ発生用高周波電源16としては、従来よりも高い周波数、例えば40MHzのものを用い、 $1 \sim 3\text{Pa}$ の低ガス圧領域での放電の安定化を計る。

【0126】なお、プラズマ源用高周波電源16の高周波化により必要以上の解離が進行する場合は、高周波電源16の出力を高周波電源変調信号源161により、オンオフないしはレベル変調制御する。高レベルの時は、ラジカル生成に比べてイオンの生成が盛んとなり、低レベルの時は、イオンの生成に比べてラジカル生成が盛んとなる。オン(またはレベル変調時の高レベル)時間としては $5 \sim 50\mu\text{s}$ 程度、オフ時間(またはレベル変調時の低レベル)としては $10 \sim 100\mu\text{s}$ 、周期 $20\mu\text{s} \sim 150\mu\text{s}$ 程度を用いる。これにより不必要な解離を防ぐとともに、所望のイオン-ラジカル比を得ることができる。

【0127】また、プラズマ源用高周波電源の変調周期は、通常、パルスバイアスの周期に比べ長くなる。そこで、プラズマ源用高周波電源の変調周期をパルスバイアスの周期の整数倍にし、2つの間の位相を最適化することにより、選択比の改善ができた。

【0128】一方、パルスバイアス電圧の印加によって、プラズマ中のイオンを試料に加速、垂直入射させることにより、イオンエネルギーの制御を行う。パルスバイアス電源17として、例えば、パルス周期: $T=0.65\mu\text{s}$ 、パルス幅: $T_1=0.15\mu\text{s}$ 、パルス振幅: $V_p=800\text{V}$ の電源を用いることにより、イオンエネルギーの分布幅は $\pm 15\%$ 以下になり、下地の Si や SiN との選択比として20~50の特性の良いプラズマ処理が可能になった。

【0129】次に、図14により本発明の他の実施例になる2電極型のプラズマエッチング装置を説明する。この実施例は、図1に示したと同様な構成であるが、試料40を保持する下部電極15が、単極式の静電チャック20を備えた構成となっている点で異なる。下部電極15の上表面に静電吸着用誘電体層22が設けられ、下部電極15には、高周波成分カット用のコイル24を介して直流電源23のプラス側が接続されている。また、20V~1000Vの正のパルスバイアスを供給するパルスバイアス電源17が、ブロッキングコンデンサ19を介して接続されている。

【0130】処理室10の周囲には放電止じ込め用リング37A、37Bを設置し、プラズマ密度の向上を図ると共に、放電止じ込め用リング37A、37B外の部分への不要なデポジット物の付着を最小とさせる。図14の放電止じ込め用リング37A、37Bにおいて、下部

電極側の放電止じ込め用リング 37A の土手部の直径は、上部電極側の放電止じ込め用リング 37B の土手部の直径より小さくし、試料周辺での反応生成物の分布を一様にしている。

【0131】なお、放電止じ込め用リング 37A、37B の材料として、少なくとも処理室側に面する側に、カーボン、シリコンあるいは SiC 等の半導体や導電体を用いる。また、下部電極側リング 37A にはコンデンサ 19A を介して 100K~13.56MHz の放電止じ込めリング用バイアス電源 17A を接続し、上部電極側 10 リング 37B には高周電源 16 の電力の一部が印加される様に構成し、イオンのスパッタ効果によるリング 37A、37B へのデポ付着を低減すると共にフッ素の除去効果も持たせる。

【0132】なお、図 14 の 13A、13C はアルミナ等で構成される絶縁体であり、13B は SiC、グラッシーカーボン、Si 等の導電性を有する絶縁体である。

【0133】リング 37A、37B の導電性が低い場合には、金属等の導体をリング 37A、37B 中に内蔵させリングの表面と内蔵導体の距離を狭くすることにより、高周波電力がリング 37A、37B の表面から放射され易くして、スパッタ効果を高めることができる。

【0134】上部電極カバー 30 は、通常その周辺のみがボルト 250 で上部電極 12 に固定される。ガス供給部 36 からガス導入室 34、ガス拡散板 32、上部電極 12 を介して上部電極カバー 30 にガスが供給される。上部電極カバー 30 に設けられた孔は、孔中の異常放電を生成し難くするため、0.3~1mm 径の細孔になっており、上部電極カバー 30 上部のガス圧は 1 気圧の数分の 1 から 1/10 程度となる。例えば 300mm 径の 30 上部電極カバー 30 に対して、全体として 100Kg 程度以上の力が加わる。このため上部電極カバー 30 が上部電極 12 に対して凸状になり中央部付近では数百ミクロン以上の隙間を生じる。

【0135】この場合、高周波源 16 の周波数が 30MHz 程度以上高くなると、上部電極カバー 30 の横方向抵抗が無視出来なくなり、特に中央部付近のプラズマ密度が低下する現象が出る。これを改善するには、上部電極カバー 30 を周辺以外の中心寄りで上部電極 12 に固定すれば良い。図 14 の例では、SiC やカーボン等の半導体もしくはアルミナ等の絶縁体のボルト 251 で、上部電極カバー 30 の中心寄りの数ヶ所を上部電極 12 に固定し、上部電極 12 側から印加される高周波の分布を一様にしている。

【0136】なお、上部電極カバー 30 の少なくとも中心寄り部分を上部電極 12 に固定する方法は、何ら上記ボルト 251 に限定されるものでなく、接着作用のある物質で上部電極カバー 30 と上部電極 12 とを全面でもしくは少なくとも中心寄りの部分で接着してもよい。

【0137】図 14 の実施例において、処理の対象物で

ある試料 40 は、下部電極 15 の上に載置され、静電チャック 20、すなわち直流電源 23 による正電荷とプラズマから供給される負電荷により静電吸着膜 22 の両端間に生じるクーロン力により吸着される。

【0138】この装置の作用は、図 1 に示した 2 電極型のプラズマエッチング装置と同様であり、エッチング処理を行う場合、処理を行なうべき試料 40 を試料台 15 に載置し、静電力で保持し、ガス供給系 36 から処理室 10 に処理ガスを所定の流量で導入しながら、他方真空ポンプ 18 により真空排気することにより、処理室 10 の圧力を試料の処理圧力、0.5~4.0Pa に減圧排気する。次に、高周波電源 16 をオンとし、両電極 12、15 間に 20MHz~500MHz、好ましくは 30MHz~100MHz の高周波電圧を印加してプラズマを発生させる。他方、下部電極 15 に、パルスバイアス電源 17 から 20V~1000V、周期が 0.1μs~10μs 好ましくは 0.2μs~5μs の正のパルスバイアス電圧を印加し、処理室 10 内のプラズマを制御して試料 40 にエッチング処理を行う。

【0139】このようなパルスバイアス電圧の印加によって、プラズマ中のイオンもしくはイオン及び電子を試料に加速、垂直入射させることにより、高精度の形状制御あるいは選択比制御を行う。パルスバイアス電源 17 及び静電吸着膜 22 に必要な特性は図 1 の実施例と同様であり、詳細は省略する。

【0140】次に、図 15 ないし図 17 により本発明の他の実施例を説明する。この実施例は、図 1 に示した 2 電極型のプラズマエッチング装置と同様な構成であるが、磁場形成手段 200 の構成が異なる。磁場形成手段 200 のコア 201 は、偏心しており、試料 40 の中心位置に相当する軸を中心にして、モータ 204 により駆動されて毎分数ないし数十回転の速度で回転するように構成されている。なお、コア 201 は接地されている。試料の全面を高精度にプラズマ処理するためには、試料の中央部付近に比べ、試料の周辺部ないしはその外側付近のプラズマの生成が高まる様に、電子のサイクロトロン共鳴効果を中央に比べ、周辺部ないしはその外側で大きくするのがよい。しかし、図 1 の実施例の場合、図 6 に示したように、試料の中心付近では ECR 領域が無く、中心付近でプラズマ密度が低くなり過ぎる場合が出てくる。

【0141】図 15 の実施例では、磁場形成手段 200 の偏心したコア 201 が回転することによって磁場の分布が変化し、試料の中心付近では時刻 $t=0$ 、 $t=T$ では、ECR 領域が試料面から低い位置に形成され、時刻 $t=1/2T$ では試料面から高い位置に形成される。コア 201 が毎分数ないし数十回転の速度で回転する結果、図 17 に示すように、両電極の中間部における試料面に平行な方向の磁場強度の平均値が、回転による時間平均化によりほぼ同じ値になる。すなわち、ECR

領域が試料の周辺部を除き試料面からほぼ同じ高さの位置に形成される。

【0142】なお、図15のコア201部で一点鎖線で示したように、偏心した中央部のコアに近い側の磁気回路を構成するコアはその厚さを薄く、遠い側の磁気回路を構成するコアはその厚さを厚くすれば、磁場強度の均一性はさらに向上する。

【0143】次に、図18ないし図19により本発明の他の実施例を説明する。この実施例は、図15に示した2電極型のプラズマエッチング装置と同様な構成であるが、磁場形成手段200の構成が異なる。磁場形成手段200のコア201は、処理室の中央に対応する位置に凹面のエッジ201Aを有し、処理室の側方位置他のエッジ201Bを有している。凹面のエッジ201Aの作用により、磁束Bは傾斜した方向成分を有する。その結果、磁場の分布が変化し、図19に示したように、試料面に平行な成分の磁場強度が図1の実施例の場合に比べて、より均一化される。

【0144】次に、図20により本発明の他の実施例を説明する。この実施例は、図15に示した2電極型のプラズマエッチング装置と同様な構成であるが、磁場形成手段200の構成が異なる。磁場形成手段200のコア201は固定式であり、処理室の中央に対応する位置に配置されたコア205と共に磁気回路を構成する。コア205は、絶縁体203と共に、エッジ201Aの中心を通る軸の廻りを回転する。このような構成により、図15の実施例と同様にして、試料の中心付近におけるECR領域の平均的な位置が、試料面からほぼ同じ位置に形成される。すなわち、ECR領域が試料の全面に亘り試料面からほぼ同じ高さの位置に形成される。

【0145】次に、図21ないし図22により本発明の他の実施例になる2電極型のプラズマエッチング装置を説明する。この実施例では、磁場形成手段200が、処理室10の周囲に2対のコイル210、220を備えており、各対のコイルに置ける磁界の向きを矢印1、2、3、4のように順次切り替えることにより、回転磁界を形成するように構成されている。コイル210、220の中心位置O-Oは、両電極12、15の中間よりも上部電極12側に位置している。これによって、試料40上の磁場強度を30ガウス以下、好ましくは15ガウス以下になるように構成している。コイル210、220の位置、外径を適宜選定することによって、試料の周辺部ないしはその外側付近のプラズマの生成がより高まる様に、磁場の強度分布を調整することができる。

【0146】次に、図23、図24により、本発明の他の実施例になる2電極型のプラズマエッチング装置を説明する。この実施例では、磁場形成手段200として、円形の処理室10の周囲に沿って水平面内で円弧状に配置された一対のコイル210'を備えている。この一対のコイル210'に流れる電流を制御して、図23に矢

印(1)、(2)で示したように、一定周期毎に磁場の極性を変化させる。

【0147】図24に破線で示すように、磁束Bは、垂直面内では処理室中心部で拡がるため、処理室中心部の磁場強度は低下する。しかし、一対のコイル210'は、処理室に沿ってカーブしているため、水平面内では、処理室中心部に磁束Bが集まる様になっている。そのため、処理室中心部の磁場の強さを、図22の実施例に比べて、高めることができる。すなわち、図23の実施例では、図22の実施例に比べて、処理室中心部における磁場強度の低下を抑制することができ、試料台の試料載置面における磁場強度の均一性を向上させることができる。

【0148】また、一定周期毎に磁場の極性を変化させることによって、 $E \times B$ のドリフト効果を少なくしている。

【0149】なお、磁場形成手段200として、図22の実施例と同様な、2対のコイルを採用しても良い。

【0150】また、磁場形成手段200として、円弧状コイル210'に代えて、図25に示すように、円形の処理室10の周囲に沿って配置された複数の直線コイル部分の組み合わせになる、凸型のコイル210'としても良い。この場合も、水平面内では、処理室中心部に磁束Bが集まる様になり、図23の実施例と同じ効果が得られる。

【0151】さらに、図26の実施例のように、1対のコイルの中心軸を、処理室中心部で試料面に近づくように、垂直面内で傾斜させて配置しても良い。この実施例によれば、処理室中心部の磁場強度を上げ、処理室周辺部の磁場強度を下げるできるので、試料台の試料載置面における磁場強度の均一性を向上させることができる。なお磁場強度の均一化のためには、コイルの中心軸の傾斜角度 θ を、5度乃至25度の範囲とするのが良い。

【0152】また、図27に示すように、一対のコイル210Aの近傍に、コイル210Bを設置し、2組のコイルの電流を制御することにより、ECR共鳴位置と共に、ECR共鳴位置付近での磁場の勾配を変化させ、ECR共鳴領域の幅を変化させることもできる。ECR共鳴領域の幅をプロセス毎に最適化することにより、各プロセスに適したイオン/ラジカル比を得ることが可能となる。

【0153】なお、以上述べた、図23乃至図27の実施例を、必要に応じて適宜組み合わせることにより、磁場強度分布の均一性と制御特性を更に向上させることが出来る。

【0154】次に、図28ないし図29により本発明の他の実施例になる2電極型のプラズマエッチング装置を説明する。この実施例では、処理室壁の一部が導電体で構成されると共に接地されている。一方、磁場形成手段

10

20

30

40

50

200が、処理室10の周囲及び上部にコイル230、240を備えている。コイル230で形成される磁束Bの向きと、コイル230で形成される磁束B'の向きは、矢印で示すように、処理室10の中心部では互いに打消合、処理室10の周辺および外側では互いに重畳するように構成されている。その結果、試料面上の磁場の強度分布は図29のようになる。しかも、試料40の載置面部分では、上部電極12と下部電極15の間の電界成分の向きと磁界成分の向きは平行である。一方、試料40の載置面の外側部分では、上部電極12の周辺部ないしは上部電極12と処理室壁との部分で、横方向の電界成分と直交する縦方向の磁界成分が生じる。

【0155】従って、図28の実施例によれば、試料の中心付近における電子のサイクロトロン共鳴効果を下げ、試料の周辺部ないしはその外側付近のプラズマの生成を高めることができる。このようにして、試料の周辺部ないしはその外側付近のプラズマの生成をより高めることにより、プラズマ密度分布を均一化することができる。

【0156】次に、図30により本発明の他の実施例を説明する。この実施例は、図1に示した2電極型のプラズマエッチング装置において、高周波電源16から上部電極12に印加する高周波電力f1では、十分なイオンエネルギーが得られない場合に、低周波電源163から上部電極12に、例えば1MHz程度以下の高周波f3をバイアスとして印加することによって、イオンエネルギーを100～200V程度増大させるものである。なお、164、165はフィルターである。

【0157】次に、図31により、無磁場型の2電極型のプラズマエッチング装置における、本発明の実施例を説明する。

【0158】前にも述べたように、試料の微細加工性を向上させるには、プラズマ発生用高周波電源16としてより高い周波数のものを用い、低ガス圧領域での放電の安定化を計るのがよい。本発明の実施例では、処理室10における試料の処理圧力を0.5～4.0Paとしている。処理室10内のガス圧力を40mTorr以下の低圧にすることにより、シース中でのイオンの衝突が少なくなるので、試料40の処理に際して、イオンの方向性が増し垂直な微細加工が可能になった。なお、5mTorr以下では、同じ処理速度を得るには、排気装置や高周波電源が大型化すると共に、電子温度の上昇による必要以上*

*の解離が生じ、特性が劣化する傾向がある。

【0159】一般に、一对の2電極を用いたプラズマ発生用の電源の周波数と安定的に放電が行われる最低のガス圧力との間には、図32に示すように、電源の周波数が高くなるほど、電極間距離が大きくなるほど、安定放電最低ガス圧が低下するという関係がある。周囲の壁や放電閉込めリング37へのデポ等の悪影響を避け、上部電極カバー30やサセプタカバー39や試料中のレジスト等によるフッ素や酸素を除去する効果を有効に機能させるために、最高ガス圧40mTorr時の平均自由行程の25倍以下に対応して、電極間距離を50mm程度以下とするのが望ましい。また、電極間距離として、最高ガス圧(40mTorr)時の平均自由行程の2～4倍(4mm～8mm)程度以上でないと、安定な放電が困難となる。

【0160】図31に示した実施例では、プラズマ発生用高周波電源16として、20MHz～500MHz、望ましくは30MHz～200MHzの高周波電力を用いるため、処理室内のガス圧力を、0.5～4.0Paの低圧にしても、安定したプラズマが得られ、微細加工性を向上させることができる。また、このような高周波電力を用いることによりガスプラズマの解離が良くなり、試料加工時の選択比制御が良くなる。

【0161】以上述べた本発明の実施例において、パルスバイアス電源の出力とプラズマ発生用電源の出力との間に干渉が生ずる可能性も考えられる。そこで、以下、この対策についてのべる。

【0162】まず、パルス幅： T_i 、パルス周期： T_o で無限大の立上り／立下り速度をもつ理想的な矩形パルスにおいては、図33に示す様に、 $f \leq 3f_o$ ($f_o = (1/T_o)$)の周波数範囲に70～80%程度の電力が含まれる。実際に印加される波形は、立上り／立下り速度が有限となるため、電力の収束性は更に改善され、 $f \leq 3f_o$ の周波数範囲に90%程度以上の電力が含まれる様にできる。

【0163】 $3f_o$ なる高い周波数成分をもつパルスバイアスを試料面内に均一に印加される様にするためには、試料にほぼ平行な対向電極を設け、次次数3で求める $3f_o$ に対して、 $f \leq 3f_o$ なる範囲の周波数成分を接地することが望ましい。

【0164】

【数3】

$$T_i = 0.2 \mu s \text{ とすると } 3f_o = 3 \cdot \frac{10^6}{0.2} = 15 \text{ MHz}$$

$$T_i = 0.1 \mu s \text{ とすると } 3f_o = 30 \text{ MHz}$$

…… 数3

【0165】図31に示した実施例は、上記パルスバイアス電源出力とプラズマ発生用電源出力との干渉の対策を行っている。すなわち、このプラズマエッチング装置

において、試料40と対向する上部電極12には、プラズマ発生用高周波電源16が接続される。この上部電極12をパルスバイアスの接地レベルにするには、プラズ

マ発生用高周波電源 16 の周波数 f_1 を上記の $3f_0$ より大きくし、かつ、 $f = f_1$ 付近でのインピーダンスが大きく、他の周波数ではインピーダンスが低い、バンドエリミネータ 141 を上部電極 12 と接地レベルとの間に接続する。

【0166】一方、 $f = f_1$ 付近でのインピーダンスが低く、他の周波数はインピーダンスが高いバンドパスフィルタ 142 を、試料台 15 と接地レベル間に設置する。このような構成を用いれば、パルスバイアス電源 17 の出力とプラズマ発生用電源 16 出力との間の干渉を、問題のないレベルに抑え、試料 40 に良好なバイアスを加えることができる。

【0167】図 34 は、本発明を外部エネルギー供給放電方式のうち誘導結合型放電方式でかつ、無磁場タイプのプラズマエッチング装置へ適用した例である。52 は平面コイル、54 は平面コイルに $10\text{MHz} \sim 250\text{MHz}$ の高周波電圧を印加する高周波電源である。誘導結合型放電方式は図 10 に示した方式に比べ、低い周波数でかつ低圧での安定なプラズマ発生が可能になる。逆に、解離が進みやすくなるため、図 1 で示したように、高周波電源 1 の出力を高周波電源変調信号源 161 により変調し、不必要な解離を防ぐことができる。真空容器としての処理室 10 は、静電吸着膜 22 の上に試料 40 が載置される試料台 15 を備えている。

【0168】エッチング処理を行う場合、処理を行なうべき試料 40 を試料台 15 に載置し、静電力で保持し、ガス供給系（図示せず）から処理室 10 に処理ガスを所定の流量で導入しながら、他方真空ポンプにより真空排気することにより、処理室 10 の圧力を $0.5 \sim 4.0\text{Pa}$ に減圧排気する。次に、高周波電源 54 に 13.56MHz の高周波電圧を加えて処理室 10 にプラズマを発生させる。このプラズマを用いて試料 40 をエッチング処理する。他方、エッチング時には、下部電極 15 に、周期が $0.1\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$ 好ましくは $0.2\mu\text{s} \sim 5\mu\text{s}$ のパルスバイアス電圧を印加する。パルスバイアス電圧の振幅は、膜種により範囲が異なることは図 1 の実施例で述べたとおりである。このパルスバイアス電圧の印加によって、プラズマ中のイオンを試料に加速、垂直入射させることにより、高精度の形状制御あるいは選択比制御を行う。これにより、試料のレジストマスクパターンが極微細なものであっても、高精度のエッチング処理を行うことができる。

【0169】また、図 35 に示すように、誘導結合型放電方式無磁場タイプのプラズマエッチング装置において、誘導電高周波出力の処理室 10 側に、隙間を有するファラデーシールド板 53 と、 $0.5\text{mm} \sim 5\text{mm}$ の薄いシールド板保護用絶縁板 54 を設置し、そのファラデーシールド板を接地してもよい。ファラデーシールド板 53 の設置によって、コイルとプラズマ間の容量成分が少なくなり、図 34 におけるコイル 52 下の石英板やシール

ド板保護用絶縁板 54 を叩くイオンのエネルギーを低下することが出来、石英板や絶縁板の損傷を少なくすると共に、プラズマ中への異物の混入を防ぐことが出来る。

【0170】また、ファラデーシールド板 53 は、パルスバイアス電源 17 の接地電極の役目も兼ねるため、試料 40 とファラデーシールド板 53 との間に均一にパルスバイアスを印加することが出来る。この場合、上部電極や試料台 15 に設置するフィルタは不要である。

【0171】図 36 は、本発明をマイクロ波プラズマ処理装置に適用した装置の一部を縦断面した正面図である。静電吸着膜 22 の上に試料 40 が載置される試料台 15 としての下部電極 15 には、パルスバイアス電源 17 及び直流電源 13 が接続されている。41 はマイクロ波の発振源としてのマグネトロン、42 はマイクロ波の導波管であり、43 は、処理室 10 を真空封止しマイクロ波を処理室 10 に供給するための石英板である。47 は磁場を供給する第一のソレノイドコイル、48 は磁場を供給する第二のソレノイドコイルである。49 は処理ガス供給系であり、処理室 10 内にエッチング、成膜等の処理を行なう処理ガスを供給する。また、処理室 10 は、真空ポンプ（図示せず）により真空排気される。パルスバイアス電源 17 及び静電チャック 20 に必要な特性は図 1 の実施例と同様であり、詳細は省略する。

【0172】エッチング処理を行う場合、処理を行なうべき試料 40 を試料台 15 に載置し、静電力で保持し、ガス供給系 49 から処理室 10 に処理ガスを所定の流量で導入しながら、他方真空ポンプにより真空排気することにより、処理室 10 の圧力を $0.5 \sim 4.0\text{Pa}$ に減圧排気する。次に、マグネトロン 41 及び第一、第二のソレノイドコイル 47、48 をオンとし、マグネトロン 41 で発生したマイクロ波を導波管 42 から処理室 10 に導いて、プラズマを発生させる。このプラズマを用いて試料 40 にエッチング処理を行う。他方、エッチング時には、下部電極 15 に、周期が $0.1\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$ 好ましくは $0.2\mu\text{s} \sim 5\mu\text{s}$ のパルスバイアス電圧を印加する。

【0173】このようなパルスバイアス電圧の印加によって、プラズマ中のイオンを試料に加速して、垂直に入射させることにより、高精度の形状制御あるいは選択比制御を行う。これにより、試料のレジストマスクパターンが極微細なものであっても、垂直入射によりマスクパターンに対応した高精度のエッチング処理が行える。

【0174】なお、図 1 以下に示した本発明のプラズマエッチング装置において、静電吸着回路の直流電圧とパルスバイアス電源回路のパルス電圧を重畳して生成し、回路を共通に構成することもできる。また、静電吸着回路とパルスバイアス電源回路を別な電極に分離して設け、パルスバイアスが静電吸着に影響を及ぼさないようにすることもできる。

【0175】図 1 に示したプラズマエッチング装置の実

施例における静電吸着回路に代えて、他の吸着手段、例えば真空吸着手段を用いることもできる。

【0176】以上述べた本発明の静電吸着回路とパルスバイアス電圧印加回路を備えたプラズマ処理装置は、エッチングガスに代えてCVDガスを導入する等の変更を加えることにより、以上述べたエッチング処理に限らずCVD装置等のプラズマ処理装置にも適用できる。

【0177】次に、図37に示した本発明の他の実施例により、従来の欠点を改善し、イオンとラジカル生成の量と質を制御し、極微細なプラズマ処理を可能とするプラズマエッチング装置の他の実施例について述べる。

【0178】すなわち、試料を設置している真空処理室の上流側で真空処理室とは別の場所に第一のプラズマ生成を行う場所を設定し、そこで生成した準安定原子を真空処理室に注入し、真空処理室にて第二のプラズマを生成する構成としている。図1に示したプラズマエッチング装置に加えて、イオン・ラジカル源用ガス供給部60と、準安定原子発生用プラズマ発生室62を備えている。また上部電極12には、準安定原子を含むガスを真空処理室に導入するルートのほかに、イオン・ラジカル源用ガス供給部に繋がっている導入ルートも設けている。

【0179】この実施例の特徴は、次の通りである。

①準安定原子発生用ガス供給部36から供給されたガスを準安定原子発生用プラズマ発生室62にて高周波電力を印加してプラズマ化し、あらかじめ所望の準安定原子を所望量発生させ処理室10に流入させる。準安定原子発生用プラズマ発生室62は、効率良く準安定原子を発生させるために、室内の圧力は、数百mTorr～数十Torrの高い圧力に設定する。

【0180】②他方、イオン・ラジカル源用ガス供給部60からのガスを処理室10に流入させる。

【0181】③プラズマ発生用電源16で比較的低電力の高周波を出力し、処理室10にプラズマを発生させる。準安定原子の注入により、5eV程度以下の低エネルギーの電子でもイオンを効率良く生成させることができるため、低電子温度(6eV程度以下、好ましくは4eV程度以下)で、かつ15eV程度以上の高エネルギー電子が大幅に少ないプラズマが得られる。このため、ラジカル源用ガスは過剰な解離を生じさせることなく必要な量と質を確保出来る。一方イオンの量は、準安定原子発生用プラズマ発生室62にて発生する準安定原子の量と、イオン・ラジカル源用ガス供給部60からのイオン源用ガスにて制御することができる。

【0182】このようにしてイオンとラジカル生成の質や量を制御できる様になるため、極微細なプラズマ処理においても良好な性能が得られる。ラジカル源用ガスとしては、CHF₃、CH₂F₂、C₄F₈あるいはCF₄などのフルオロカーボンガスに、必要に応じてC、Hを含むガス(C₂H₄、CH₄、CH₃OHなど)を混

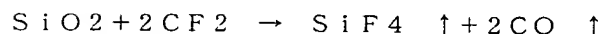
ぜてもちいる。準安定原子発生用ガスとしては、1種類ないしは2種類の希ガスをベースにしたものを用いる。イオン源用ガスとしては、下記の性質を持つ希ガス等を用いることにより、効率良くイオンを生成できる。

【0183】前記準安定原子のエネルギー準位に対し、イオン源用ガスの電離準位が低いもの、もしくは、イオン源用ガスの電離準位の方が高いが、その差が小さい(5eV程度以下)ものが用いられる。

【0184】尚、性能的には低下するがイオン源用ガスとして特に追加せず、上記準安定原子発生用ガスやラジカル源用ガスで代用することもできる。

【0185】次に、図38にイオンとラジカル生成の質や量を制御する本発明の他の実施例を示す。図37と基本的考えは、同じであるが、図37において、準安定原子発生用プラズマ室62と真空処理室10との間の距離が長く、この間での準安定原子の減衰が大きい場合の対策として実施する例である。41はマイクロ波の発振源としてのマグネトロン、42はマイクロ波の導波管であり、43は第一のプラズマ生成室45を真空封じして、マイクロ波を通過させるための石英板であり、44はガス分散用の石英板である。第一のプラズマ生成室45では、数100mTorrから数10Torrのガス圧で前記マイクロ波によりプラズマを発生させ、準安定原子を発生させる。

【0186】図38では、図37に比較し準安定原子の発生場所と真空処理室間の距離を短く出来るため、高い密度で準安定原子を真空処理室に注入することができ、真空処理室10におけるイオンの量を増加できる。処理室10は5～50mTorrの圧力に保ち、20MHz以上の高周波電源16により、5eV好ましくは3eV以下で10の10乗から11乗台/cm³の高密度低電子温度プラズマを発生させ、解離エネルギーとして8eV以上を必要とするCF₂の解離を避けつつ、イオン源用ガスの電離を進行させる。この結果、試料40の表面上では、バイアス電源17により数100Vで加速されたイオンの入射でアシストされた下記反応が主に進行する。



なお、下地材料となるSiやSiNは、CF₂ではエッチングされないため、高選択比の酸化膜エッチングが可能となった。

【0187】また、CF₂の一部解離によるFの増加は、シリコン、カーボンもしくはSiC等からなる上部電極カバー30により減少させている。

【0188】上で述べたように、ラジカル源用ガスとイオン源用ガスを調節することにより、処理室10内でのイオンとラジカルとの比率をほぼ独立に制御でき、試料40の表面での反応を所望のものにコントロールすることが容易になった。

【0189】本発明の、静電吸着回路とパルスバイアス

電圧印加回路を備えたプラズマ処理装置は、エッチングガスに代えてCVDガスを導入する等の変更を加えることにより、以上述べたエッチング処理に限らずCVD装置等のプラズマ処理装置にも適用できる。

【0190】次に、図39にイオンとラジカルとを独立に制御する本発明の他の実施例を示す。図39において、CHF₃、CH₂F₂、C₄F₈あるいはCF₄などのフルオロカーボンガスに、必要に応じてC、Hを含むガス(C₂H₄、CH₃OHなど)を混ぜ、図39のAなる部分よりバルブ70を経由してラジカル発生用プラズマ発生室62に入れる。

【0191】ラジカル発生用プラズマ発生室62では、数MHzないしは数10MHzのRF電源63の出力をコイル65に印加し、数100mTorrから数10Torrのガス圧でプラズマを発生させ、主にCF₂ラジカルを発生させる。同時に発生するCF₃やFはH成分により減少させる。

【0192】なお、ラジカル発生用プラズマ発生室62でCFやO等の成分を大幅に減少させることは困難なため、この後に不要成分除去室65を設ける。ここでは、カーボンやSiを含む材質(カーボン、Si、SiC等)の内壁を設置し、不要な成分を減少、あるいは悪影響の少ない別のガスに変換させる。不要成分除去室65の出口は、バルブ71に接続し、CF₂が主成分のガス組成を供給する。

【0193】なお、バルブ70とバルブ71との間は、デポ物等の堆積物が多く蓄積するため、比較的短期間で清掃や交換が必要である。このため、大気開放と交換とを容易にすると共に、再立ち上げ時の真空立ち上げ時間の短縮のため、バルブ72を経由して排気装置74に接続している。なお排気装置74は、処理室10用排気装置等と兼用してもよい。

【0194】またイオン源用ガス(アルゴンガスやキセノンガス等の希ガス)Bはバルブ73を経由し、前記のバルブ71の出口と繋ぎ処理室に供給する。

【0195】処理室10は5~40mTの圧力に保ち、変調を施した20MHz以上の高周波電源16により、5eV好ましくは3eV以下で10の10乗から11乗台/cm³の高密度低電子温度プラズマを発生させ、解離エネルギーとして8eV以上を必要とするCF₂の解離を避けつつ、イオン源用ガスの電離を進行させる。この結果、試料40の表面上では、バイアス電源17により数100Vで加速されたイオンの入射でアシストされた下記反応が主に進行する。

$\text{SiO}_2 + 2\text{CF}_2 \rightarrow \text{SiF}_4 \uparrow + 2\text{CO} \uparrow$
 なお、下地材料となるSiやSiNは、CF₂ではエッチングされないため、高選択比の酸化膜エッチングが可能となった。

【0196】また、CF₂の一部解離によるFの増加は、シリコン、カーボンもしくはSiC等からなる上部

電極カバー30により減少させている。

【0197】上で述べたように、ラジカル源用ガスAとイオン源用ガスBとを調節することにより、処理室10内でのイオンとラジカルとの比率をほぼ独立に制御でき、試料40の表面での反応を所望のものにコントロールすることが容易になった。また、不必要なデポ成分等は、不要成分除去室65で排除し、処理室10には極力持ち込まないようにしているため、処理室10内のデポは大幅に低減され、処理室10を大気に開放して行う清掃の頻度も大幅に低減できた。

【0198】次に、図40にイオンとラジカルとを独立に制御する他の実施例を示す。酸化ヘキサフルオロプロピレンガス(CF₃CF₂OCF₂、以下HFPOと略す)をAより、バルブ70を経由して加熱パイプ部66に通し、不要成分除去室65とバルブ71を経由し、イオン源ガスBと混合し、処理室10のほうに送る。加熱パイプ部66では、800℃~1000℃にHFPOを加熱し下記の熱分解によりCF₂を生成する。

$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{OCF}_2 \rightarrow \text{CF}_2 + \text{CF}_3\text{CF}_2\text{O}$
 CF₃CF₂Oは比較的安定な物質で分解しにくい、一部分解し不要なOやFを発生するため、加熱パイプ部66の後に不要成分除去室65をもうけ不要成分を除去、あるいは悪影響のない物質に変換している。一部のCF₃CF₂OCF₂は分解しないで処理室10に流入するが、5eV以下の低電子温度のプラズマでは解離しないため問題とはならない。

【0199】なお、バルブ72、排気装置74の用い方ならびに処理室10内での反応は、図39の場合と同じである。

【0200】本発明の、静電吸着回路とパルスバイアス電圧印加回路を備えたプラズマ処理装置は、エッチングガスに代えてCVDガスを導入する等の変更を加えることにより、以上述べたエッチング処理に限らずCVD装置等のプラズマ処理装置にも適用できる。

【0201】

【発明の効果】本発明によれば、φ300mm以上の大口径の試料について微細パターンの精密な加工が容易で、また、微細加工時の選択比も向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。また、大口径の試料の全面にわたって均一かつ高速な処理、特に酸化膜処理を施すことができるプラズマ処理装置およびその処理方法を提供することができる。

【0202】本発明によれば、さらに、試料中の絶縁膜(例えばSiO₂、SiN、BPSG等)に対するプラズマ処理の選択性等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【0203】また、制御性が良くかつ狭いイオンエネルギー分布を得て、プラズマ処理の選択性等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【0204】また、静電吸着用誘電体層を有する試料台を使用する場合において、制御性良く、狭いイオンエネルギー分布を得て、プラズマ処理の選択性等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【0205】また、イオンとラジカルの量や質を独立に制御することにより、プラズマ処理装置の処理室内の圧力を低くして、微細パターンの精密な加工が容易で、また、微細加工時の選択比も向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【0206】さらにまた、イオンとラジカルの量や質を独立に制御することにより、試料中の絶縁膜（例えばSiO₂、SiN、BPSG等）に対するプラズマ処理の選択性等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例になる、2電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図2】電子のサイクロトロン共鳴を生じる磁場を加えた状態で、プラズマを発生させる高周波電源の周波数を変化させたときの、プラズマ密度の変化の一例を示す図である。

【図3】サイクロトロン共鳴時と無共鳴時とに電子が高周波電界から得るエネルギー利得kの状況を示す図である。

【図4】マグネトロン放電電極の上部電極を接地し、下部電極に磁界Bを与えると共に高周波電力を印加した時の、磁界強度と、試料に誘起されるイオン加速電圧VDC及び試料内の誘起電圧のバラツキΔVの関係を示す図である。

【図5】図1のプラズマエッチング装置の磁界特性の説明図である。

【図6】図1のプラズマエッチング装置のECR領域の説明図である。

【図7】本発明のパルスバイアス電源において使用する望ましい出力波形の例を示す図である。

【図8】パルスデューティ比： (T_1/T_0) は一定のまま T_0 を変化させた時の試料表面の電位波形とイオンエネルギーの確率分布を示す図である。

【図9】パルスデューティ比を一定のまま、 T_0 を変化させた時の試料表面の電位波形とイオンエネルギーの確率分布を示す図である。

【図10】パルスのオフ($T_0 - T_1$)期間と、静電吸着膜の両端間に生じる電圧の一周期中の最大電圧 V_{α} の関係を示す図である。

【図11】パルスデューティ比と (V_{α}/V_0) の関係を示す図である。

【図12】塩素ガスをプラズマ化した時のシリコンと酸化膜とのエッチングレートESiおよびESiO₂のイオンエネルギー依存性を示す図である。

【図13】酸化膜のエッチングの例としてC₄F₈ガスをプラズマ化した時の、酸化膜とシリコンとのエッチングレートESiO₂および、ESiのイオンエネルギー分布を示す図である。

【図14】本発明の他の実施例になる2電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図15】本発明の他の実施例になる2電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図16】図15プラズマエッチング装置の磁場分布特性の説明図である。

【図17】図15のプラズマエッチング装置のECR領域の説明図である。

【図18】本発明の他の実施例になるプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図19】図18のプラズマエッチング装置の磁場分布特性の説明図である。

【図20】本発明の他の実施例になる、2電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図21】本発明の他の実施例になる、2電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図22】図21のプラズマエッチング装置の磁場分布特性の説明図である。

【図23】本発明の他の実施例になる2電極型のプラズマエッチング装置の要部横断面図である。

【図24】図23のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図25】磁場形成手段の他の実施例を示す図である。

【図26】本発明の他の実施例になる、2電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図27】本発明の他の実施例になる、2電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図28】本発明の他の実施例になる、2電極型プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図29】図28のプラズマエッチング装置の磁場分布特性の説明図である。

【図30】本発明の他の実施例になる、2電極型プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図31】図1に示した2電極型プラズマエッチング装置を改良した他の実施例の縦断面図である。

【図32】プラズマ発生用電源の周波数と安定放電最低ガス圧の関係を示す図である。

【図33】パルスバイアス電源の周波数と累積電力の関係を示した図である。

【図34】本発明を、外部エネルギー供給放電方式のうち、誘導結台型放電方式でかつ、無磁場タイプのプラズマエッチング装置へ適用した例の縦断面図である。

【図35】本発明の他の実施例になる、プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図36】本発明をマイクロ波プラズマ処理装置に適用した装置の一部を縦断面した正面図である。

【図37】本発明の他の実施例になる、プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図38】本発明の他の実施例になる、プラズマ処理装置の一部を縦断面した正面図である。

【図39】本発明の他の実施例になる、イオンとラジカルを独立して制御可能な、2電極プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図40】本発明の他の実施例になる、イオンとラジカルを独立して制御可能な、2電極プラズマエッチング装*

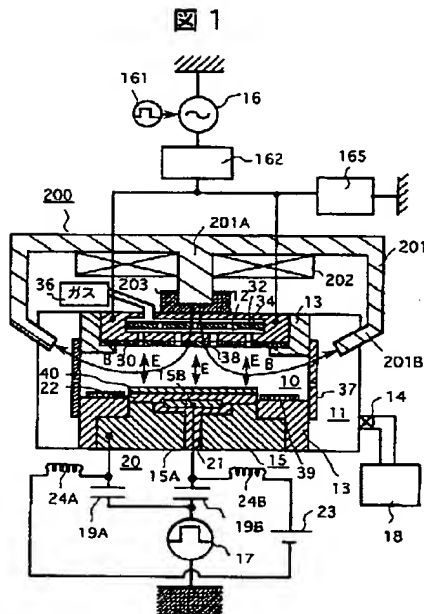
* 置の部分詳細図である。

【符号の説明】

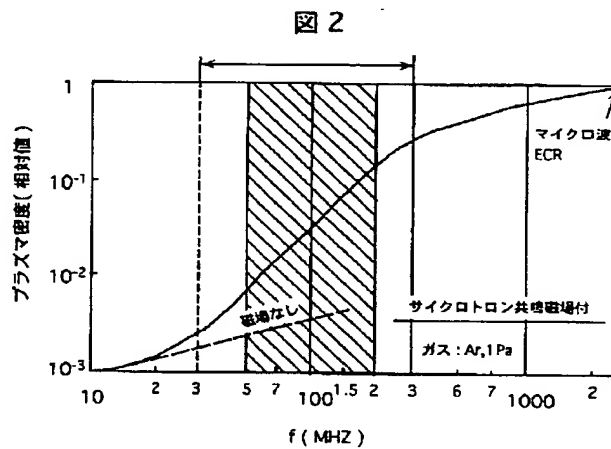
10…処理室、12…上部電極、15…下部電極、16…高周波電源、17…パルスバイアス電源、18…真空ポンプ、20…静電チャック、22…静電吸着膜、23…直流電源、30…上部電極カバー、32…ガス拡散板、32、36…ガス供給部、40…試料、161…高周波電源変調信号源、200…磁場形成手段200、201…コア、202…電磁コイル、203…絶縁体

10

【図1】



【図2】



【図7】

図7

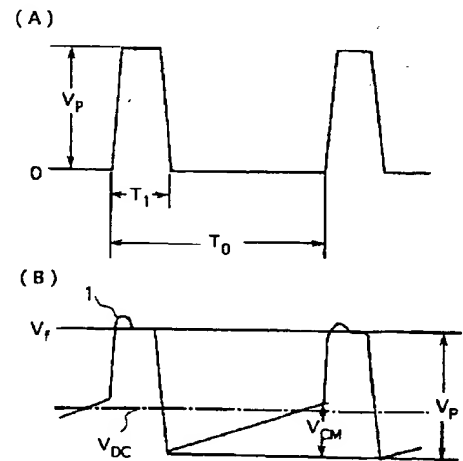
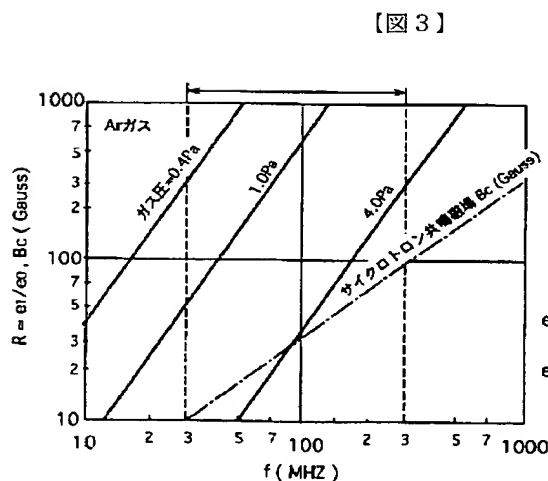


図3



$$B_c = 2\pi f \cdot \frac{m_e}{e}$$

e0: 無磁場時RF1周期に電子

が得るエネルギー

e1: サイクロトロン共振磁場を

印加時RF1周期に電子が

得るエネルギー

$$V_{CM} = \frac{q}{c} = \frac{i_i \cdot (T_0 - T_1)}{(\epsilon_r \epsilon_0 / d) \times k}$$

i_i: イオン電流密度

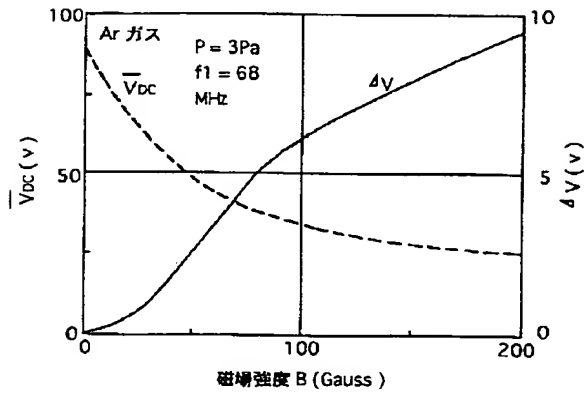
ε_r: 静電吸着膜の比誘電率

d: 静電吸着膜の膜厚

k: 静電吸着膜の電極被覆率

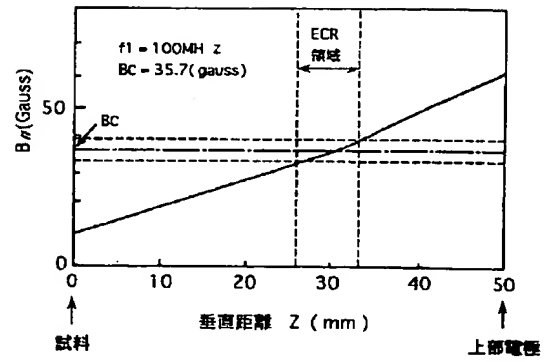
【図 4】

図 4



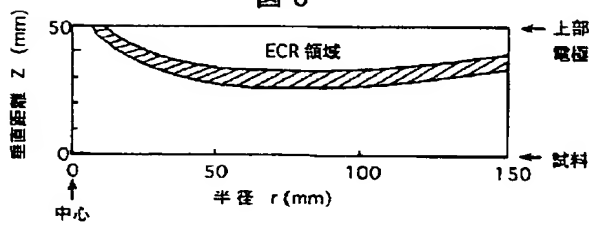
【図 5】

図 5



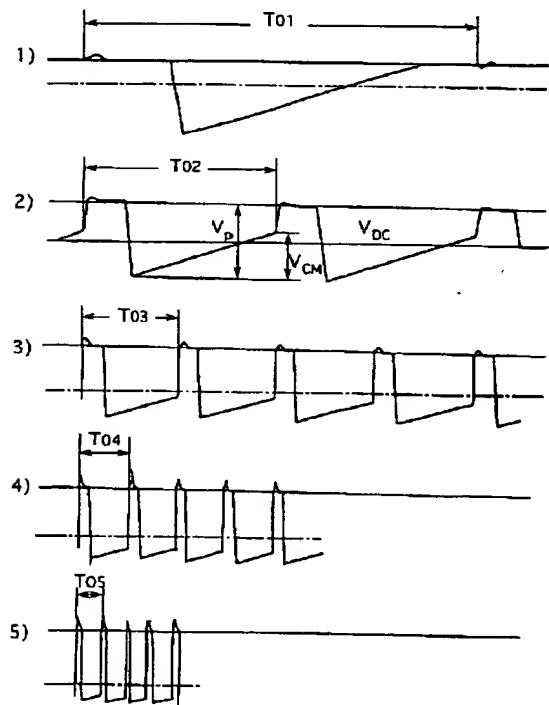
【図 6】

図 6



【図 8】

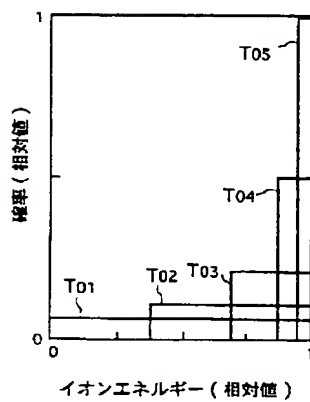
図 8



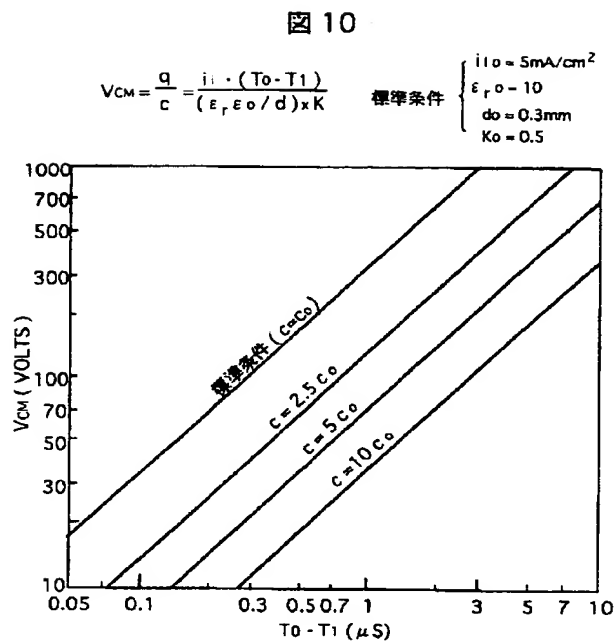
$$T_{01} : T_{02} : T_{03} : T_{04} : T_{05} = 16 : 8 : 4 : 2 : 1$$

【図 9】

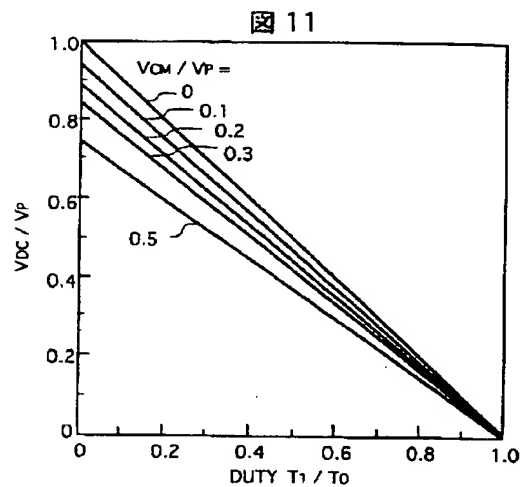
図 9



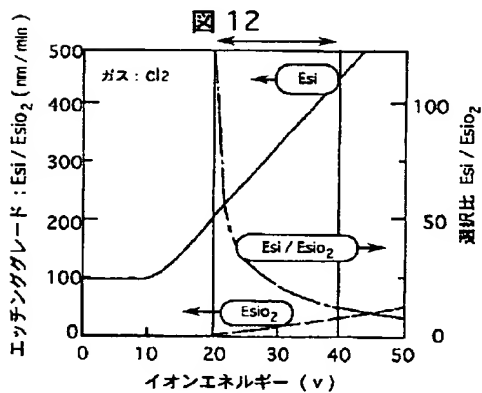
【図10】



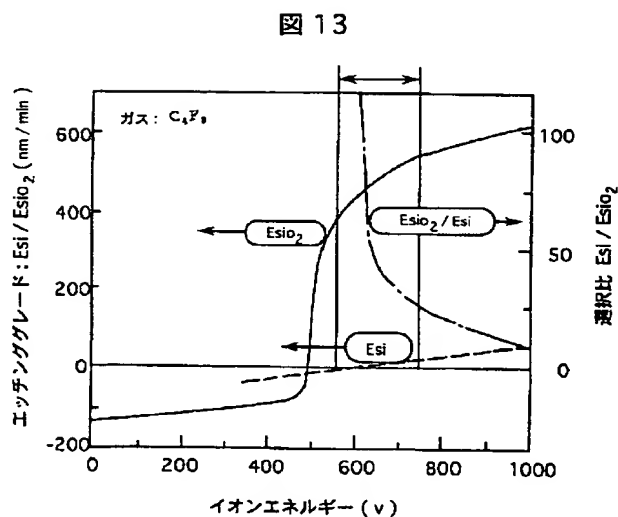
【図11】



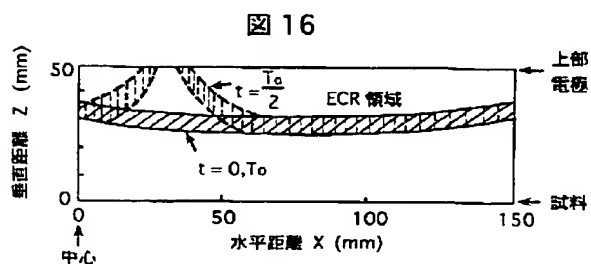
【図12】



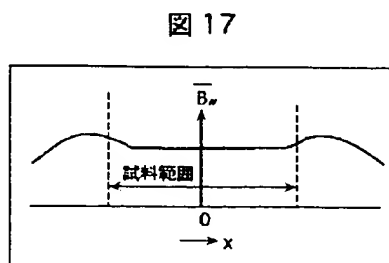
【図13】



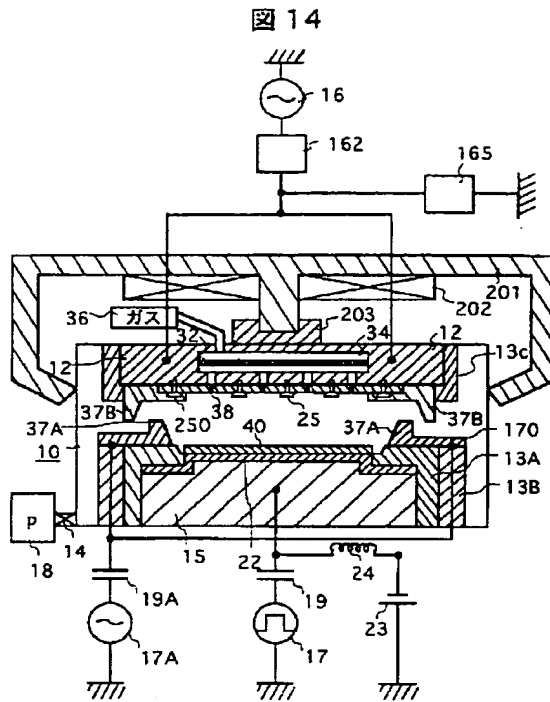
【図16】



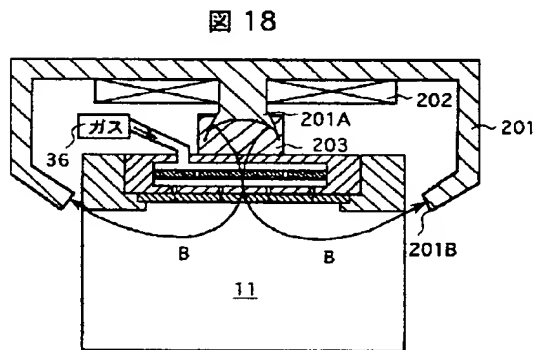
【図17】



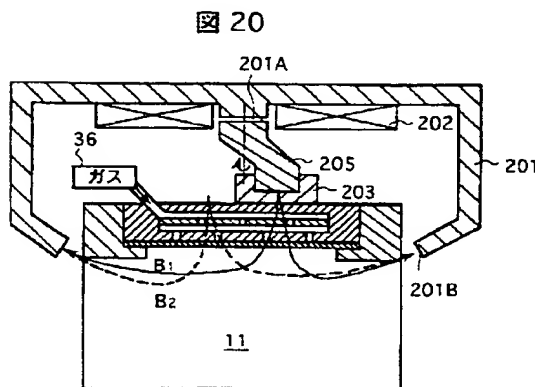
【図 14】



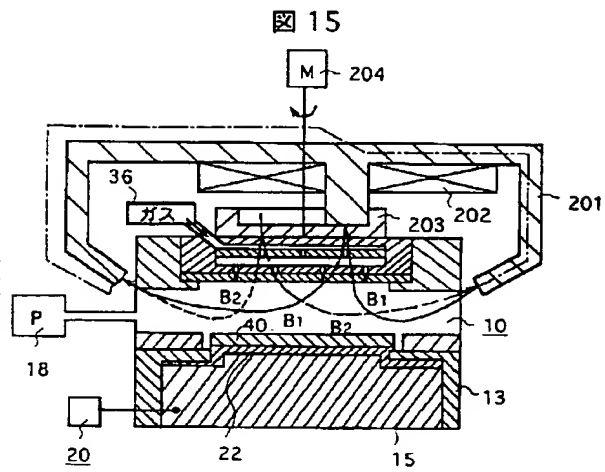
【図 18】



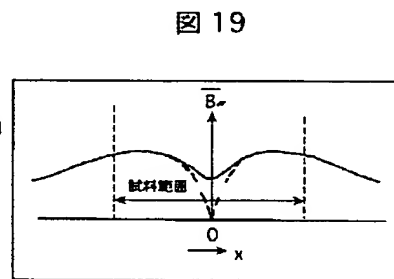
【図 20】



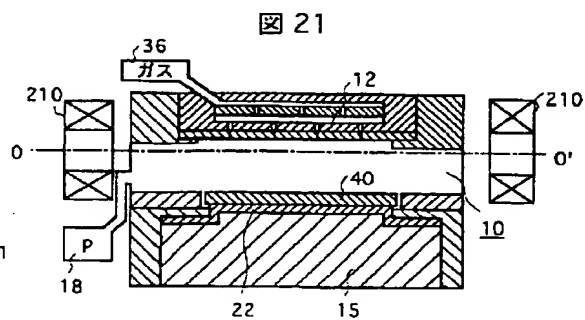
【図 15】



【図 19】

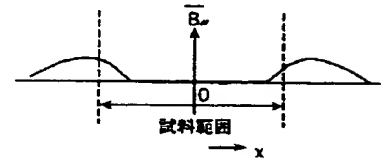


【図 21】

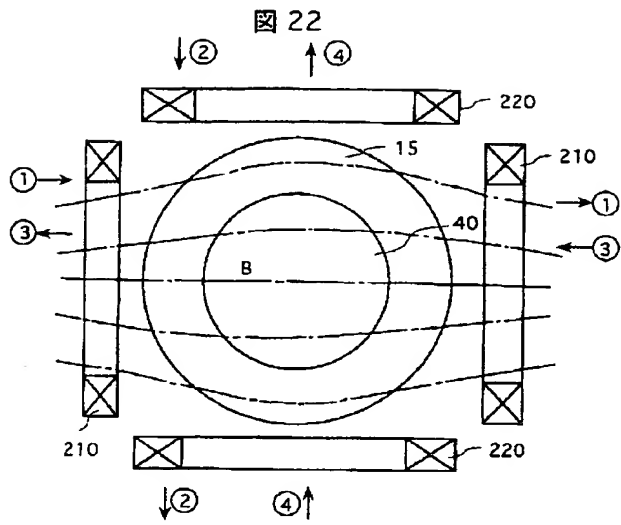


【図 29】

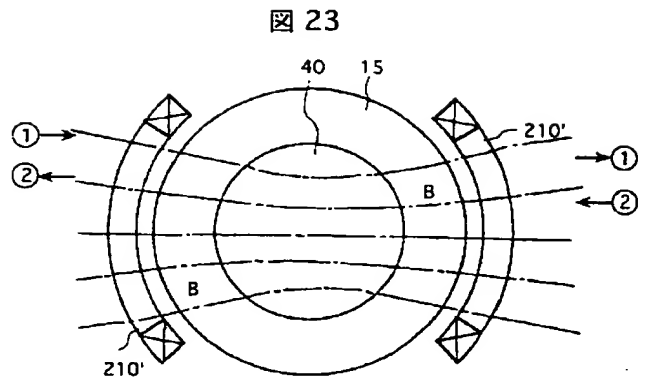
図 29



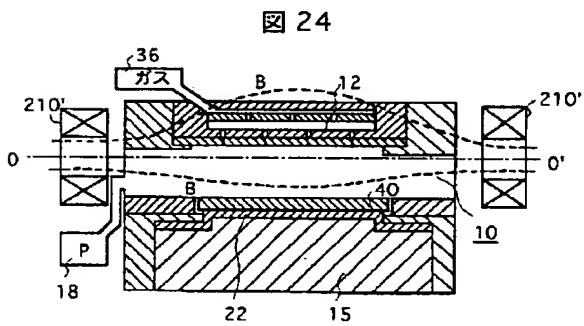
【図 22】



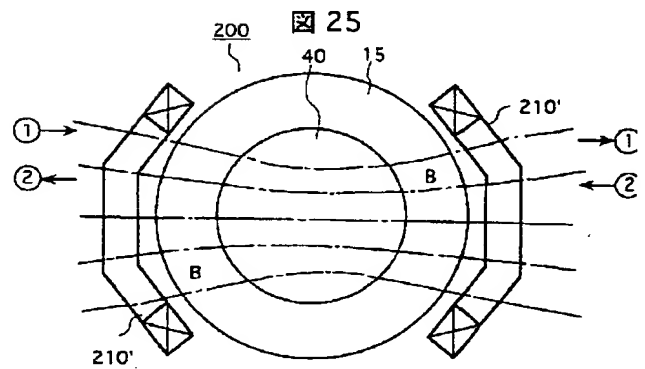
【図 23】



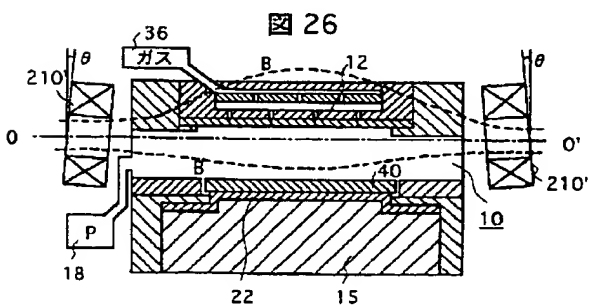
【図 24】



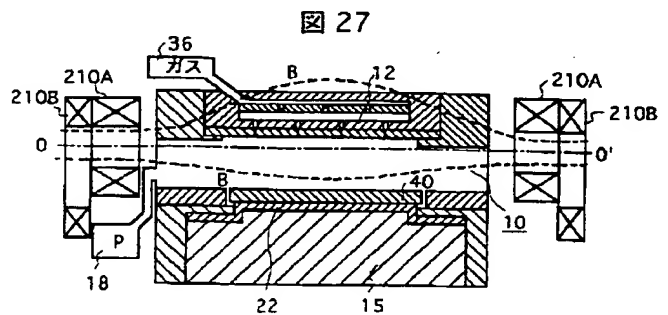
【図 25】



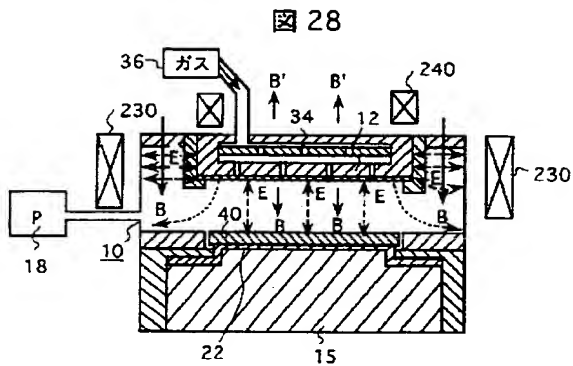
【図 26】



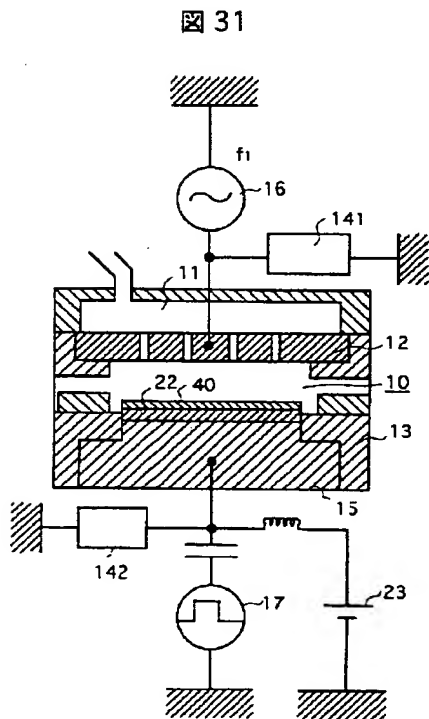
【図 27】



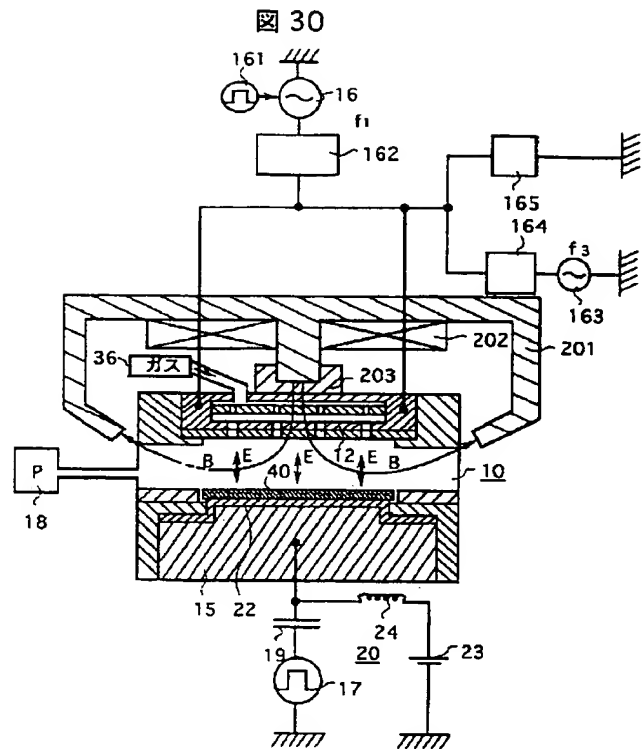
【図 28】



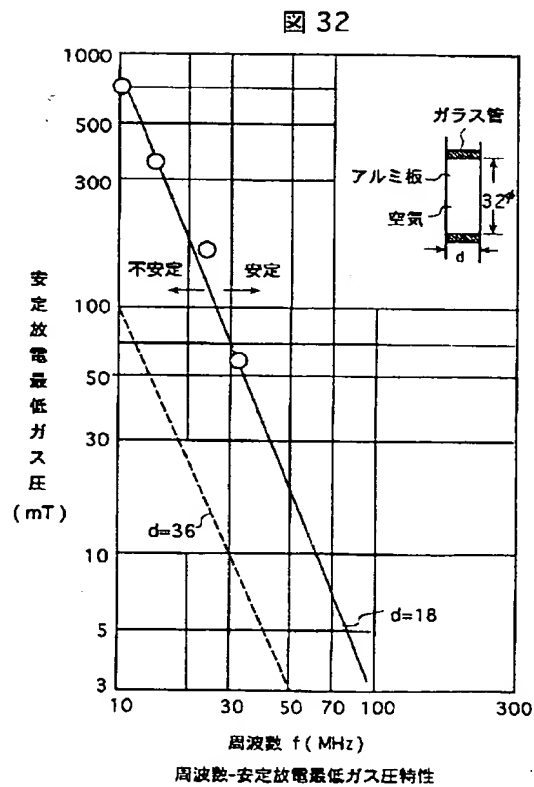
【図 31】



【図 30】



【図 32】



【図33】

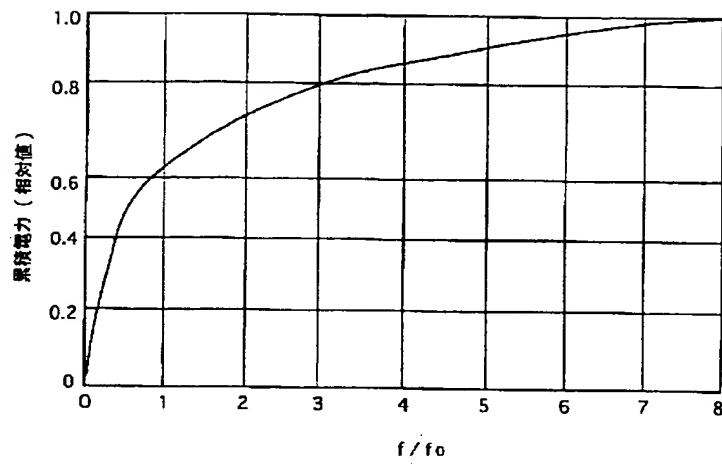
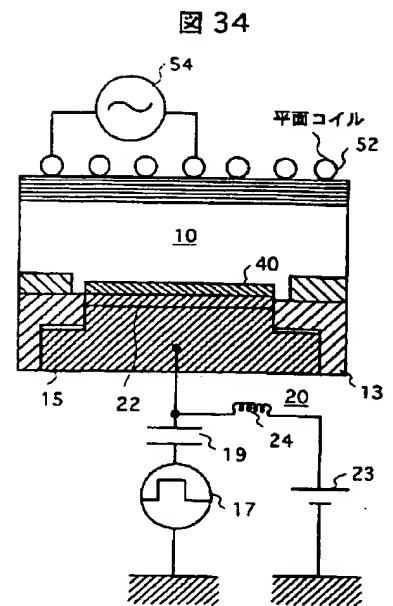


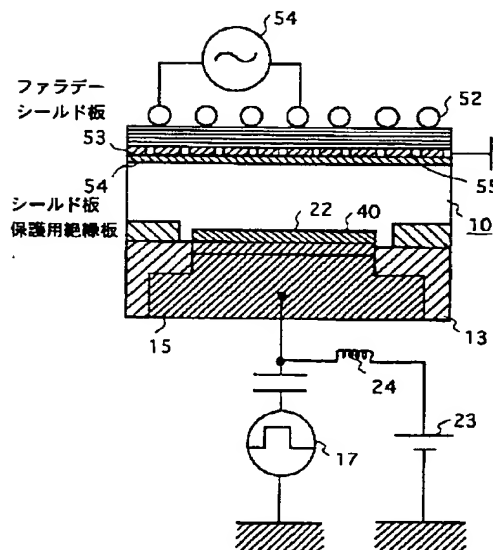
図 33

【図34】



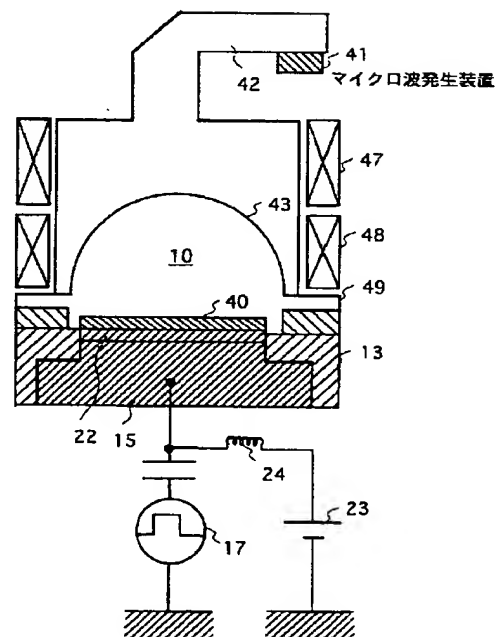
【図35】

図 35

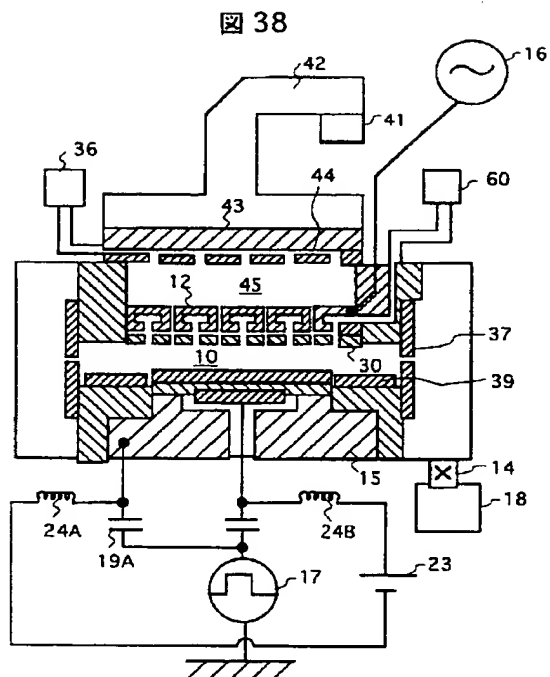


【図36】

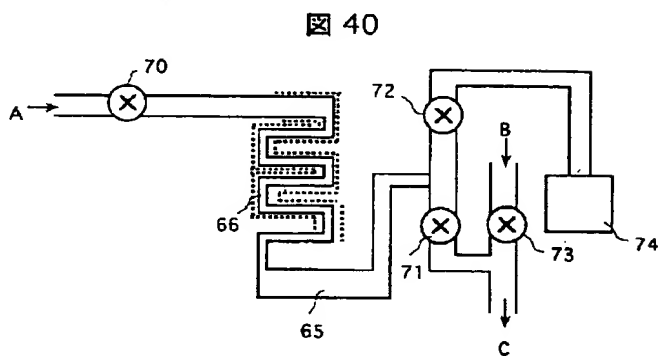
図 36



【図 38】



【図 40】



(51) Int. Cl. ⁶
C 2 3 F 4/00
H 0 1 L 21/205
21/3065

F I	
C 2 3 F	4/00
H 0 1 L	21/205
	21/68

D
R

21/68

21/302

B

(72) 発明者 大坪 徹
茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日
立製作所機械研究所内

(72) 発明者 田地 新一
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72) 発明者 田中 潤一
茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日
立製作所機械研究所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ ~~FADED~~ TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.